



Università degli Studi di Genova

Dipartimento di Ingegneria Meccanica Energetica
Gestionale e dei Trasporti - Sezione di
Termo-Energetica e Condizionamento Ambientale

Tesi di Dottorato

Corso di Dottorato in Ingegneria Meccanica Energetica e
Gestionale
Indirizzo Fisica Tecnica XXX Ciclo

**Studio dei criteri e delle metodologie per la
riqualificazione energetica e funzionale degli edifici
esistenti: Integrazione architettura/impianti a energie
rinnovabili verso nZEB (nearly Zero Energy Building)**

Study of the criteria and methodologies for existing
buildings energetic and functional retrofit:
architecture/energy systems integration towards
nZEB (nearly Zero Energy Building)

Candidata: Camilla Saio

Tutor: Prof. Ing. Luca A. Tagliafico

Aprile 2018

Sommario

INTRODUZIONE.....	4
Oggetto della ricerca	4
Metodologie della ricerca	5
Struttura della tesi.....	7
1. CONTESTO NORMATIVO E NEARLY ZERO ENERGY BUILDING	9
1.1 Contesto legislativo dal protocollo delle Conferenze sull'Ambiente al programma 20-20-20.....	9
1.2 nearly Zero Energy Buildings (nZEB).....	11
1.3 Attestati di Prestazione Energetica (APE).....	20
1.4 Diagnosi energetiche	21
1.5 Edifici storici.....	24
2. BENCHMARK CONSUMI ENERGETICI PER DIVERSE TIPOLOGIE DI EDIFICI.....	27
2.1 Analisi tipologie degli edifici residenziali e benchmark.....	27
2.2 Altre tipologie di edifici.....	38
3 ANALISI IMPIANTI E INTEGRAZIONE EDIFICIO-IMPIANTO	54
3.1 Generazione e distribuzione.....	58
3.2 Geotermia e pompe di calore che sfruttano bacini d'acqua.....	62
3.3 Solar Compact Hybrid System (SCHOYS)	68
3.4 Impianti Eolici	72
3.5 Pompe di calore elio-assistite (PCEA).....	78
3.6 Impianto AI.CO.WA. (AIr COnditionig with heat pump WATER- water)	82
3.7 Criteri per le scelte degli impianti rispetto agli edifici.....	85
3.8 Monitoraggio	89
3.9 L'impatto ambientale degli impianti di climatizzazione	91
4 ISOLAMENTO TERMICO	94
4.1 Generalità dell'isolamento termico.....	94
4.2 Inerzia termica degli edifici.....	95
4.3 Isolamento interno e esterno con materiali di tipo tradizionale	99
4.4 Applicazioni di aerogel a base di silice.....	101
4.5 Isolamento con materiali a cambiamento di fase (PCM)	104
4.6 Prospettive di ricerca.....	107
5 METODOLOGIE DI SIMULAZIONE TERMOENERGETICA DEGLI EDIFICI VERSO NZEB.....	110
5.1 Modelli di calcolo in Regime Dinamico e in Regime Stazionario.....	111
5.2 Metodi quasi stazionari	112
5.3 Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento	113

5.4	Confronto tra modelli dinamici e semi-stazionari	120
5.5	Software di simulazione dinamica	120
5.6	Modelli di calcolo per la diagnosi energetica degli edifici	124
6	CASO DI STUDIO – IMPIANTO PILOTA DEL PALACUS.....	127
6.1	Progettazione e descrizione dei componenti	130
6.2	Controllo, ottimizzazione e monitoraggio del PalaCus.....	132
6.3	Sintesi di alcuni dati complessivi dell'impianto pilota	136
7	CASO DI STUDIO EDIFICI STORICI MILITARI – FORTE BEGATO.....	139
7.1	Impianto pompa di calore che sfrutta una cisterna	141
7.2	Impianto pompa di calore elioassistita.....	147
7.3	Impianto fotovoltaico	149
7.4	Impianto micro-eolico	152
7.5	Isolamento termico.....	156
7.6	Involucro trasparente – gli infissi.....	161
8	CASO DI STUDIO COMPLESSO EDIFICI DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA	165
8.1	Riqualificazione del sistema involucro.....	170
8.2	Sistema impianto ed energie rinnovabili.....	174
8.3	Sistema a pompa di calore elioassistita con pannelli solari ibridi PV/T	179
8.4	Conclusioni e cenni analisi dei costi e finanziamenti.....	183
9.	SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E IMPATTO PAESAGGISTICO, ECONOMICO E SOCIALE NELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI	186
9.1	Risparmio energetico e riduzione di CO ₂ nell'ambiente.....	187
9.2	Linee guida per l'integrazione degli impianti che utilizzano fonti di energia rinnovabili nel paesaggio e nell'architettura.....	190
9.3	Il coinvolgimento degli utenti nella riqualificazione energetica dei condomini	192
9.4	Finanziamenti	195
10	TRAINEESHIP ALL'UNIVERSITÀ DI NIZZA SOPHIA ANTIPOLIS E ALL'ECOLE DES MINES DE PARIS.	198
10.1	Attività di ricerca all'Università di Nizza Sophia Antipolis	198
10.2	PERSEE Test-Cell solare passiva	199
	CONCLUSIONI	207
	Pubblicazioni presentate durante il Dottorato.....	212

ALLEGATO A.....	213
-----------------	-----

Tabelle comparative e criteri per la scelta degli impianti a energie da fonti rinnovabili negli edifici

- A1. Fabbisogni energetici per tipologie di edificio – Ipotesi e confronto installazione impianti
- A2. Sintesi criteri scelta degli impianti a seconda della tipologia degli edifici e alle modalità di regolazione della temperatura
- A3. Impianti e principali interferenze ambientali e antropiche, misure di attenzione e mitigazione

INTRODUZIONE

La ricerca è stata condotta nell'ambito del Dottorato IMEG Ingegneria Meccanica Energetica Gestionale XXX ciclo (curriculum Fisica Tecnica), che ha previsto anche un periodo di stage in Francia presso l'Università di Nice Sophia Antipolis e l'Ecole des Mines de Paris.

Le attività hanno riguardato l'approfondimento degli aspetti teorici dei temi dell'efficientamento energetico e impiantistici degli edifici, rispetto a quelli acquisiti nel Corso di Laurea Specialistica in Architettura, aspetti teorici che sono stati applicati ad alcuni casi di studio.

Oggetto della ricerca

L'oggetto della ricerca svolta durante il Dottorato ha riguardato lo studio dei criteri e delle metodologie per l'efficienza energetica, ponendo particolare cura all'integrazione tra l'architettura, l'involucro e gli impianti degli edifici.

La ricerca ha quindi affrontato la riqualificazione energetica e funzionale e l'utilizzo di tecnologie di sistemi a energie rinnovabili in un'ottica di edifici nZEB (nearly Zero Energy Building), sostenibili e autosufficienti, contribuendo a diffonderne i vantaggi e la cultura.

L'uso di tecnologie innovative è stato proposto come uno degli aspetti del trinomio spazi-design-impianti. Le tecnologie degli impianti vanno infatti integrate al progetto architettonico che ne deve sfruttare pienamente le potenzialità, inserendole nel contesto.

Si evidenzia che gli edifici esistenti rispetto agli edifici di nuova costruzione, pensati nell'ottica di risparmio energetico, sono particolarmente arretrati dal punto di vista dell'efficienza energetica e quindi l'esigenza di interventi di riqualificazione e ristrutturazione.

Il progetto di ricerca ha quindi considerato le prestazioni energetiche e gli impianti a energie rinnovabili applicati nel retrofit degli edifici esistenti, che costituiscono il 70% del patrimonio edilizio nazionale, considerando anche le strategie nZEB al fine di applicarle a diversi casi studio.

Lo studio dell'efficienza energetica degli edifici e del loro retrofitting ha incluso i seguenti temi:

- il contesto normativo delle politiche europee e nazionali rispetto all'efficienza energetica ed i criteri per le diagnosi energetiche degli edifici
- i concetti e le applicazioni delle tecnologie e pratiche operative per raggiungere l'efficienza energetica degli edifici in una prospettiva nZEB, in particolare nel contesto di edifici esistenti, o complessi di edifici, da riqualificare nel contesto territoriale degli edifici stessi
- l'analisi delle tipologie degli edifici con la ricerca di benchmark, in relazione alla loro destinazione d'uso, dei fabbisogni energetici come riferimenti per i calcoli dei fabbisogni e la riqualificazione energetica di edifici esistenti
- il confronto delle diverse tipologie di impianto a energie rinnovabili e delle condizioni per le quali risulta conveniente la loro installazione a seconda delle caratteristiche degli edifici e nel rispetto dei vincoli architettonici/paesaggistici

- l'integrazione tra architettura e impianti a **energie rinnovabili** e individuazione di metodologie di applicazione a seconda delle strutture del costruito e del contesto architettonico e territoriale
- i criteri per il monitoraggio ex-post dell'efficacia degli interventi rispetto ai risultati attesi, con soluzioni tecnologiche semplici ed affidabili per la regolazione e controllo degli impianti, anche in relazione all'utilizzo degli impianti nel tempo da parte degli utenti
- nuovi materiali e tecniche per la ristrutturazione dell'involucro degli edifici, come PCM (phase change materials) e silica aerogel, con valutazioni termico-economiche
- metodologie di simulazione termoenergetica dinamica HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) degli edifici verso nZEB
- l'impatto delle scelte di design per realizzare e raggiungere l'obiettivo di progettazione e riqualificazione degli edifici esistenti

Un altro aspetto è stato quello di analizzare gli ostacoli che attualmente si incontrano per raggiungere gli obiettivi del risparmio energetico negli edifici e proporre possibili soluzioni, ad esempio attraverso lo studio di soluzioni architettoniche che possano superare le problematiche dovute alle norme ed i vincoli che impongono di mantenere l'aspetto originario degli edifici nei centri storici od in altre aree di interesse paesaggistico.

Il progetto di ricerca intende inoltre contribuire a diffondere i vantaggi e la cultura degli nZEB, proponendo soluzioni e nuove tecnologie, anche abbinate ad un restyling architettonico, che possano essere realizzate attraverso la collaborazione e il confronto con le istituzioni e che possano suscitare l'interesse dei proprietari degli immobili, contribuendo a fare chiarezza nell'attuale confusione presente nel mercato del risparmio energetico e delle tecnologie rinnovabili ed ad aumentare l'efficacia degli investimenti, pubblici o privati, in questo settore.

Metodologie della ricerca

Il tema della riqualificazione energetica presenta diverse complessità a seconda dello stato degli edifici e le loro caratteristiche e il contesto territoriale. Gli studi dei vari casi vengono quindi affrontati con diverse metodologie.

La metodologia per la determinazione dell'efficienza energetica di un edificio e i fabbisogni di energia, è basata sulle normative tecniche europee di calcolo (UNI/TS 11300), determinate dai dati tecnici dell'edificio, degli impianti, nonché dai dati climatici standardizzati (temperatura, esterna, irraggiamento solare), dall'uso dell'edificio (temperatura della stanza, aerazione, fabbisogno di acqua calda) e dal vettore energetico (gas, olio, ecc.).

I fabbisogni di energia termica dell'edificio per il riscaldamento e il raffrescamento in particolare, sono stati calcolati sulla base del bilancio termico delle zone in cui è suddiviso l'edificio, quando non sia considerato come una singola zona termica. Il bilancio di energia termica è scorporato nel bilancio termico o di energia a livello dell'edificio, che rappresenta l'oggetto della ricerca, e nel bilancio di energia a livello dell'impianto, che in questo studio viene trattato a parte. Lo studio dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento sono infatti i dati di ingresso nel bilancio energetico degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento e degli impianti di ventilazione e quindi considerati prioritari nello studio.

Nella pianificazione di interventi di riqualificazione energetica, oltre alle metodologie più tecniche menzionate precedentemente, è anche importante considerare fattori come la sostenibilità ambientale e l'impatto paesaggistico ed economico, con studi sulle potenzialità del sito di riqualificazione.

È stato quindi svolto uno studio funzionale con indici specifici relativi alla qualità della riqualificazione, con profili del fabbisogno energetico (riscaldamento, raffrescamento, ACS, consumi elettrici) e un confronto tra varie ipotesi, evidenziando qualitativamente e quantitativamente le potenzialità e i limiti delle possibili soluzioni.

Per ogni tipologia di edificio è stata prodotta una tabella che descrive le caratteristiche ambientali ed energetiche ed i fabbisogni in relazione alle possibili destinazioni d'uso, consentendo di evidenziare la praticabilità e la sostenibilità dei progetti.

I risultati dell'applicazione dei criteri proposti sono stati presentati in relazione a diversi casi studio, con un'analisi di fattibilità in termini di costi, vincoli ambientali, parametri di realizzazione, efficienza, emissioni di CO₂ ed indici di consumo.

Per le simulazioni dinamiche degli edifici, nel contesto della ricerca illustrata con la tesi, è stato usato il software Energy Plus. Anche se l'analisi e la validazione dei risultati delle simulazioni dinamiche ottenuti con il software Energy Plus non sono sempre possibili per mezzo di dati sperimentali ed/o grandi campagne di misurazione (come una pratica di approccio scientifico richiederebbe), è stato comunque possibile confermare la validità del metodo attraverso l'analisi e i confronti di prove/fatti oggettivi, letteratura sperimentale ed/o pratiche operative metodologiche (ad esempio mediante l'uso dei benchmark o di campagne di prova su edifici campione).

Casi studio

Durante il Dottorato sono stati affrontati casi studio di riqualificazione energetica su casi reali di edifici esistenti, applicando le diverse metodologie ed analisi oggetto della ricerca, con l'utilizzo di sistemi di audit energetici, per diverse tipologie di edifici, ipotesi di intervento e costi di realizzazione.

Nello studio dei casi pilota sono stati approfonditi in particolare i seguenti temi:

- L'analisi dell'impianto pompa di calore elio-assistita con pannelli ibridi PV/T e del monitoraggio dell'impianto con una descrizione dell'impianto pilota, per il centro sportivo PalaCus di Genova
- I criteri per la riqualificazione energetica del sistema dei Forti di Genova, anche in relazione all'isolamento termico con base di aerogel e riferimenti alle applicazioni per gli edifici storici (sviluppato in parte presso l'Università di Nice Sophia Antipolis e all'Ecole de Mines de Paris).
- L'integrazione degli aspetti architettonici, impiantistici e dell'involucro per la riqualificazione energetica nell'edilizia residenziale pubblica

Struttura della tesi

La struttura della tesi segue la metodologia applicata per lo studio della riqualificazione energetica e funzionale degli edifici esistenti e dell'integrazione architettura/impianti a energie rinnovabili verso nZEB, con una prima parte più teorica sui vari aspetti normativi, metodologici e tecnici precedentemente citati, e una seconda parte rivolta ai casi di studio.

Nella parte conclusiva è inoltre inserito un capitolo sugli aspetti ambientali e socio-economici del risparmio energetico degli edifici e una sintesi delle attività di ricerca svolte nel periodo di Dottorato in Francia.

Anche se vi sono collegamenti tra i capitoli, ciascuno di essi tratta un argomento specifico e può essere letto separatamente dagli altri.

Nel dettaglio:

Il capitolo 1 fornisce un quadro introduttivo della riqualificazione energetica, il contesto normativo delle politiche europee e nazionali, un'introduzione all'APE (Attestato di Prestazione Energetica) e alle diagnosi energetiche per le residenze ed altre tipologie di edifici e per gli edifici appartenenti ai beni culturali.

Nel capitolo 2 vengono analizzate le tipologie edilizie e riportati alcuni studi sui benchmark dei consumi energetici ai fini di validazione delle diagnosi energetiche. In questo capitolo vengono analizzati diversi studi condotti da ENEA sulla ricerca del sistema elettrico, con le misurazioni e la caratterizzazione di alcuni fabbricati, con le informazioni necessarie a stimare il fabbisogno energetico e gli interventi necessari all'efficientamento energetico.

Nei capitoli 3 e 4 vengono analizzati rispettivamente gli impianti e la loro integrazione con gli edifici e gli effetti dell'isolamento termico, con un approfondimento della loro interazione con le diverse strutture e stratigrafie che compongono l'involucro.

Nel capitolo 3 viene svolta un'analisi di alcune tipologie di impianti a energie rinnovabili e la loro integrazione con l'edificio; in particolare sono state prese in considerazione la geotermia e pompe di calore che sfruttano bacini d'acqua, i Solar Compact Hybrid Systems (SCHOYS), l'eolico e il micro-eolico, la pompa di calore elio-assistita con pannelli ibridi PV/T. inoltre sempre in questo capitolo viene condotto uno studio sull'installazione degli impianti nel rispetto dei vincoli paesaggistici.

Il capitolo 4 è invece dedicato allo studio dell'isolamento sia interno che esterno di tipo tradizionale (lana di vetro, lana di roccia, polistirene), e l'isolamento termico con materiali innovativi, come l'aerogel e i materiali a cambiamento di fase (PCM).

Nel capitolo 5 vengono presentate le metodologie di simulazione termoeconomica dinamica HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) degli edifici in un'ottica nZEB, con una presentazione dei modelli di calcolo per la diagnosi energetica degli edifici e con un confronto tra l'analisi dei carichi termici a regime stazionario e la termoeconomica dinamica degli edifici per le diverse applicazioni di riqualificazione energetica.

I capitoli 6-7-8 presentano tre casi studio sviluppati durante il Dottorato, nei quali vengono proposte diverse soluzioni di tipologie di impianti e di isolamento, con l'obiettivo di ottenere edifici nZEB con un confronto tra diverse soluzioni e diverse strategie per la riqualificazione energetica.

Rispettivamente:

- Cap. 6: Caso studio dell'impianto pilota per il centro sportivo PalaCus di Genova, con un'analisi dell'impianto utilizzando una pompa di calore elio-assistita con pannelli ibridi PV/T e uno studio per il sistema del monitoraggio dell'impianto
- Cap. 7: Caso studio per la riqualificazione energetica del sistema dei Forti di Genova, con varie ipotesi tecnologiche, anche complementari tra loro: pompa di calore sfruttando una grande cisterna esistente, una pompa di calore elio-assistita con pannelli ibridi PV/T, studio inserimento dei pannelli fotovoltaici e del micro-eolico nel complesso di Forte Begato; ipotesi di isolamento termico anche con l'impiego di aerogel
- Cap. 8: Caso studio di riqualificazione energetica di un complesso di edilizia residenziale pubblica (ERP) di ARTE-Agenzia Regionale Territoriale per l'Edilizia, con ipotesi di interventi relativi all'involucro dell'edificio con progetti per la copertura a verde integrata con pannelli solari e fotovoltaici, isolamento a cappotto, chiusura logge e sostituzione infissi e un'ipotesi di una pompa di calore elio-assistita con pannelli ibridi PV/T.

Nel capitolo 9 vengono discusse le implicazioni degli interventi di retrofitting dal punto di vista del contesto ambientale, paesaggistico, economico e sociale.

Viene trattato in particolare il tema dell'importanza del risparmio energetico e della conseguente riduzione delle emissioni di CO₂ nell'ambiente, l'integrazione degli impianti che utilizzano fonti di energia rinnovabili nel paesaggio e nell'architettura. Vengono inoltre analizzati il ruolo delle istituzioni nella promozione del risparmio energetico e il coinvolgimento degli utenti nella riqualificazione energetica dei condomini.

Nel capitolo 10 vengono descritte le attività di ricerca svolte nel corso del Dottorato presso l'Università di Nice Sophia Antipolis e l'Ecole des Mines de Paris.

In allegato vengono infine riportate delle tabelle comparative e i criteri per la scelta degli impianti a energie da fonti rinnovabili negli edifici.

1. CONTESTO NORMATIVO E NEARLY ZERO ENERGY BUILDING

Inquadramento generale del tema

L'Unione Europea ha riconosciuto che "Gli edifici sono responsabili del 40% del consumo globale di energia dell'Unione. Pertanto la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia costituiscono misure importanti necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra" (Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica dell'edilizia).

La Direttiva propone orientamenti per gli Stati membri relativi alla prestazione energetica degli edifici e, tra le varie norme, impone certificazioni energetiche per gli edifici di nuova costruzione e per quelli esistenti oggetto di importanti ristrutturazioni.

Per quanto riguarda l'edilizia c'è stata quindi, sia a livello legislativo, sia a livello progettuale una maggiore attenzione a nuovi criteri di costruzione per i nuovi edifici e si stanno sperimentando nuovi modelli, anche autosufficienti dal punto di vista energetico, con una prospettiva di sostenibilità ambientale.

In un'ottica di "Green Building", come icona e nuova filosofia di progettazione ecosostenibile, l'efficientamento energetico costituisce una delle priorità, sulle quali basare la progettazione. Ciò implica limitare le dispersioni degli involucri e aumentare i rendimenti degli impianti e utilizzare energia proveniente da fonti rinnovabili.

I nuovi edifici, paragonati agli edifici esistenti, ne evidenziano l'arretratezza dal punto di vista dell'efficienza energetica e quindi l'esigenza di interventi di riqualificazione e ristrutturazione.

Il tema della riqualificazione energetica è molto attuale, si deve infatti considerare che gran parte dell'edificato in Italia, circa l'80%, è antecedente al 1970 ed è stato costruito senza criteri di risparmio energetico, quindi si discosta molto dalle prestazioni imposte dalle norme che si applicano per gli edifici di nuova costruzione.

Negli ultimi anni c'è stata una maggiore consapevolezza dei costi dell'inefficienza energetica anche per quanto riguarda gli edifici esistenti, con politiche atte a favorire interventi di ristrutturazione e riqualificazione, anche con incentivi fiscali e contributi finanziari. La ristrutturazione degli edifici esistenti, ha un'alta priorità in molti paesi, come l'Italia, perché questi edifici rappresentano una percentuale così elevata di consumo energetico (circa il 40%) e saranno presenti per decenni a venire.

1.1 Contesto legislativo dal protocollo delle Conferenze sull'Ambiente al programma 20-20

A partire dagli anni '90, si è iniziato a discutere a livello mondiale in modo sistematico dei temi di tutela del clima e del territorio, delle emissioni antropogeniche di gas climalteranti, specialmente CO₂ prodotta dalla combustione di combustibili fossili, conseguente al consumo di energia, e quindi a una sua razionalizzazione, sia in termini quantitativi che in termini di fonti di approvvigionamento e sistema di produzione, con la Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite (UNCED) tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992 e che si è conclusa con la stesura della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, meglio conosciuta come United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

Obiettivo del trattato era quello di ridurre le emissioni di gas serra nell'atmosfera, sulla base della teoria del riscaldamento globale. Entrata in vigore il 21 marzo 1994, senza alcun vincolo per i singoli Paesi, la Convenzione Quadro prevedeva una serie di adeguamenti o protocolli che, nel tempo, avrebbero introdotto limiti obbligatori alle emissioni di CO₂, con l'obiettivo specifico del raggiungimento, entro il 2000, della stabilizzazione delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera rispetto ai livelli del 1990.

I Paesi più industrializzati si attribuirono gran parte delle responsabilità dei cambiamenti climatici. Dal 1994 le delegazioni decisero di incontrarsi regolarmente nella Conferenza delle Parti (COP).

La più importante di queste COP è stata senza dubbio la terza, tenutasi a Kyoto, in Giappone nel 1997 e da cui scaturì l'omonimo **protocollo** contenente misure atte a ridurre le emissioni nei paesi industrializzati per il periodo successivo all'anno 2000. Globalmente, gli Stati inclusi nell'allegato I della convenzione quadro (ovvero i paesi industrializzati) si impegnano collettivamente a ridurre le loro emissioni di gas ad effetto serra, nel periodo 2008-2012, con una riduzione delle emissioni totali dei paesi sviluppati di almeno il 5 % rispetto ai livelli del 1990.

L'allegato B del protocollo contiene gli impegni quantificati sottoscritti dagli Stati contraenti. Secondo tale protocollo, tra il 2008 e il 2012, gli Stati che erano membri dell'UE prima del 2004 devono ridurre collettivamente le loro emissioni di gas ad effetto serra dell'8 %. Gli Stati membri che hanno aderito all'UE dopo questa data s'impegnano a ridurre le loro emissioni dell'8 %, ad eccezione della Polonia e dell'Ungheria (6%) e di Malta e Cipro che non figurano nell'allegato I della convenzione Quadro.

L'Unione europea ha ratificato il protocollo di Kyoto il 31 maggio 2002. Il protocollo è entrato in vigore il 16 febbraio 2005, dopo la ratifica della Russia. Vari paesi industrializzati non hanno voluto ratificare il protocollo, tra cui gli Stati Uniti e l'Australia.

L'Unione Europea con il **Programma 20-20-20** si è posta gli obiettivi di riduzione del 20% dei consumi energetici, rispetto allo scenario tendenziale, del 20% di emissioni di gas serra e di utilizzo del 20% di energia da fonti rinnovabili. (**Direttiva 2009/28/Ce** e successivo Quadro per le politiche dell'energia e del clima 2014).

Al fine di ridurre del 20% i propri consumi gli Stati membri devono adottare opportuni piani di intervento e dal 2014 ristrutturare annualmente il 3% del patrimonio edilizio, promuovendo l'efficienza delle utenze tramite incentivi e finanziamenti (**Direttiva 2012/27/UE**).

Per il raggiungimento degli obiettivi del Programma 20-20-20 sono state inoltre promosse diverse iniziative, come il **Patto dei Sindaci** per il Clima e l'Energia, con il quale i Comuni firmatari si impegnano a presentare (ed a realizzare) un Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (**PAES**), in linea con gli obiettivi del Programma 20-20-20.

L'iniziativa del Patto dei Sindaci è diventata una alleanza Globale, coinvolgendo ad oggi oltre 7600 Comuni (tra i quali il Comune di Genova) di 57 Paesi, che rappresentano circa 690 milioni di cittadini.

Nel **PAES** del Comune di Genova particolare rilevanza riveste il piano per la riqualificazione energetica degli edifici.

Con il nuovo Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia, i nuovi firmatari si pongono l'obiettivo di ridurre le emissioni di CO₂ di almeno il 40% entro il 2030 e di adottare un approccio integrato per affrontare la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici.

Per le questioni tecniche di progetto si fa riferimento alle Direttive Europee che interessano il comparto edilizio per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e i requisiti minimi (**Direttiva 2010/31/UE**).

Dovranno rispettare i requisiti gli edifici nuovi e gli edifici esistenti, destinati a subire ristrutturazioni importanti. In particolare, i costruttori devono rispettare le normative nazionali che obbligano per gli edifici di nuova costruzione o per interventi di manutenzione straordinaria a rispettare degli specifici valori di prestazione energetica per involucri opachi, involucri trasparenti e sistemi di climatizzazione invernale (**Legge 10/1991, DPR 412/1993, D.L.311/2006, Decreto 11/03/2008**) e alle normative tecniche, come quelle sulle prestazioni energetiche degli edifici (**UNI, 2008**) e degli impianti termici (**UNI, 2014**).

Con la Legge 10 del 1991 e il successivo Decreto attuativo D.P.R. 412 del 1993 venne modificato l'approccio progettuale degli impianti. Non era più sufficiente assicurarsi che la potenza termica installata risultasse inferiore al valore massimo ammissibile, ma divenne necessario garantire che il fabbisogno termico convenzionale dell'edificio non superasse determinati valori limite in relazione alla zona climatica e al fattore di forma dell'edificio.

Nella scelta degli interventi si sono seguiti requisiti ecologici ed ambientali per l'ottimizzazione della prestazione energetica, come ad esempio schermature, tetti verdi, installazione di sistemi solari termici che coprano almeno il 50% del fabbisogno di ACS dell'edificio (**Regolamento edilizio Comunale del Comune di Genova**, criteri di efficienza energetica della Regione Liguria).

L'analisi delle opzioni tecnologiche ha preso in considerazione il **PEAR (Piano Energetico Ambientale Regionale)** della Regione Liguria, e in particolare l'Allegato 2 – Sintesi degli aspetti ambientali e misure di attenuazione/mitigazione – che riporta una “matrice riepilogativa delle potenziali interferenze che gli interventi possono generare in relazione alle componenti ambientali e ai fattori antropici e socio-economici.

Inoltre, per la scelta degli interventi, si è anche tenuto conto che il PAES del Comune di Genova, per quanto riguarda l'ambito degli edifici, prevede determinate azioni da svolgere, tra le quali, l'installazione di pannelli solari e audit energetici sugli edifici pubblici e privati.

1.2 nearly Zero Energy Buildings (nZEB)

L'importanza dell'efficienza energetica degli edifici è stata riconosciuta dal **Programma europeo 20-20-20**, il quale attribuisce al settore edilizio, ed in modo particolare a quello residenziale, un ruolo fondamentale, con forti ripercussioni su tutti e tre gli obiettivi che l'Unione Europea si è posta.

Dal momento che gran parte dei consumi e delle emissioni sono dovuti agli edifici (circa il 40%), l'UE ha considerato nelle sue politiche l'efficienza energetica degli edifici come una delle sue priorità e si è posta anche l'obiettivo di promuovere la costruzione di edifici a energia quasi zero (nZEB-near Zero Energy Buildings), in particolare attraverso le **Direttive 2010/31/UE e 2012/27/UE**.

Queste direttive europee si devono applicare agli edifici di nuova costruzione, ma anche agli edifici esistenti nel momento in cui si eseguono interventi di ristrutturazione che devono essere eseguiti come una Riqualificazione energetica e in prospettiva nZEB.

Inoltre la Direttiva 2010/31 UE definisce la metodologia di calcolo della produzione energetica degli edifici e fissa i requisiti minimi di prestazione energetica. Tale Direttiva si pone anche l'obiettivo di costruire edifici a energia quasi zero. Entro il 31 Dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero. Gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di quest'ultimi dovranno rispettare gli stessi criteri a partire dal 31 dicembre 2018.

La Direttiva 2012/27/UE stabilisce inoltre le misure necessarie al raggiungimento dell'obiettivo del taglio del 20% dei consumi entro il 2020 (rispetto ai livelli del 1990), che è uno degli obiettivi del programma 20-20-20.

Ogni stato membro dovrà stabilire una strategia per mobilitare investimenti per ristrutturare il parco nazionale di edifici residenziali e commerciali, sia pubblici che privati.

Per gli edifici di nuova costruzione viene quindi valutata la possibilità di sistemi alternativi ad alta efficienza in una prospettiva nZEB, come sistemi di fornitura energetica decentrati, basati su energia da fonti rinnovabili, cogenerazione, teleriscaldamento o tele rinfrescamento urbano o collettivo, in particolare se basato interamente o parzialmente su energia da fonti rinnovabili e pompe di calore.

Le nuove rigide normative termiche e la nozione di "nearly Zero Energy Building" garantiscono che i nuovi edifici non comportino un onere aggiuntivo sulle risorse energetiche. Tali norme e l'approccio nZEB possono essere considerate come riferimento e un traguardo anche per quanto riguarda le ristrutturazioni.

Per progettare un edificio a energia netta quasi zero o, più in generale, un edificio sostenibile dal punto di vista energetico, ambientale o economico lungo tutto il suo ciclo di vita, occorre far ricorso a pratiche progettuali che permettano di effettuare consapevolmente le scelte strategiche e tecnologiche che consentiranno il raggiungimento degli obiettivi.

In particolare il progettista deve poter prevedere il comportamento del sistema edificio-impianto al variare di condizioni al contorno quali il clima, la disponibilità e il costo delle fonti energetiche, il comportamento degli occupanti, la modalità di gestione degli impianti [1].

Stato dell'Arte

Per quanto riguarda lo stato dell'arte degli nZEB si riportano diversi studi analizzati. È necessaria un'osservazione del mercato che desideri incorporare indicazioni qualitative e quantitative, con l'obiettivo di provvedere a una panoramica delle sfide tecniche e sociali da applicare agli nZEB.

A questo scopo è stato svolto uno studio comparativo incrociato sugli ostacoli sociali e tecnici verso l'implementazione nZEB in 7 paesi del Sud Europa e fornisce raccomandazioni basate su prove empiriche disponibili con l'obiettivo di abbassare ulteriormente le barriere nel settore delle costruzioni in Europa [2]. In questo studio è stato riscontrato che la maggior parte dei paesi Sud Europei sono scarsamente preparati per l'implementazione di nZEB ed in special modo a riguardo delle sfide/opportunità di ristrutturazione e retrofit di costruzioni esistenti. Creare un approccio comune per ulteriormente sviluppare obiettivi nZEB, concetti e

definizioni in sinergia con lo stato del progresso tecnico, societario e climatico in Sud Europa risulta essenziale. L'articolo fornisce raccomandazioni su azioni per trasformare le lacune identificate in opportunità per lo sviluppo futuro di costruzioni ad alta rendita adattive al clima.

Il metodo efficiente per adempiere allo scopo di nZEB consiste nell'applicare il processo di progettazione integrato ed impiegare elementi di restauro modulari su scala più ampia. Nel progetto Horizon2020 MORE-CONNECT sono stati sviluppati elementi di restauro modulari per l'isolamento dell'involucro degli edifici, con l'utilizzo di questi elementi verranno realizzati delle ristrutturazioni nZEB pilota.

Lo studio include un complesso di misurazioni: misurazioni termoigrometriche ed analisi di sicurezza in relazione all'umidità, facciate prefabbricate altamente isolate ed elementi di rinnovamento modulari da tetto, riparazione totale delle aree interne, ricostruzione dei balconi, isolamento dei sotterranei\scantinati, modernizzazione completa dei sistemi di ventilazione e riscaldamento. I condotti di ventilazione vengono integrati nei pannelli modulari per minimizzare fornitura di lavori conduzione negli appartamenti. Moduli a tetto includono pannelli solari e collettori per la produzione di energie rinnovabili ed inoltre per il drenaggio di acqua piovana. Tutti i sistemi tecnici ed i moduli di costruzione verranno equipaggiati con sistemi di monitoraggio i quali dati verranno registrati periodicamente [3].

In un altro studio, sono state prodotte delle simulazioni per controllare che l'impatto dei parametri di comfort sulla richiesta di energia per aria condizionata per edifici nZEB seguendo lo standard Passivhaus. Quindici città nel Sud Europa sono state selezionate per lo studio: dodici città in Spagna, due in Italia ed una in Francia come esempi di clima temperato. Sono state eseguite simulazioni di fabbisogno energetico per intervalli di temperature e diversi gradi di umidità dell'aria per calcolare il loro impatto a seconda dei dati climatici. I risultati ottenuti per un'abitazione nZEB sono stati comparati con quelli ottenuti da una normale abitazione per fornire informazioni riguardo allo sviluppo di ulteriori norme e standard in relazione al clima interno e calcoli energetici.

Inoltre, le simulazioni sono state realizzate seguendo modelli adattivi dove la temperatura di comfort dipende da condizioni esterne. Questi risultati aiuteranno paesi a climi temperati, come quelli in Sud Europa, a definire i propri parametri di comfort termici per nZEB [4].

I primi risultati su un nZEB allo stato dell'arte per una singola famiglia in Svizzera rivelano che i futuri requisiti della direttiva cantonale di costruzione MuKE 2014 raggiungono la più ambiziosa classe energetica MINERGIE per molti sistemi. Il contrassegno MINERGIE-A per edifici ad alta rendita richiede un bilancio dell'intero consumo misurato ed un bilancio di elettricità PV da energia solare in sito su base annuale. Questo requisito tuttavia risulta essere talmente duro da inibire gli incentivi all'ottimizzazione, e.g. un incremento di autoconsumo elettrico da batterie, dato che questo porterà ad aumenti nel costo dei sistemi. Le prime conclusioni presumono che l'omissione di questo requisito PV possa portare a rendite energetiche simili, ma con costi inferiori per i sistemi e anche meno interazioni nella griglia e più flessibilità [5].

Nello studio [6] vengono presentate le analisi delle variazioni in termini di progettazione a costo ottimizzato per una singola casa familiare in un clima continentale (Parigi) in vari scenari di cambiamento climatico nel breve e medio termine (2026-2045). Dai risultati dell'analisi, la

deduzione principale indica che maggiore è la prestazione energetica e maggiore è la resilienza alle variazioni climatiche.

Lo studio [7] presenta nuovi EQF di livello 7 per programmi educativi di costruzione, implementati all'interno del progetto di MenS's Horizon 2020. Il programma è stato organizzato in diverse nazioni Europee con una struttura comune ed un simile esito di apprendimento. L'obiettivo è di aggiornare le abilità professionali nella progettazione e costruzione di nZEB, pertanto incrementando le capacità di affrontare implementazioni di nZEB nell'attuale assortimento di edifici.

L'articolo [8] analizza i casi studio concernenti un edificio multiuso a Palermo (Sud Italia), e valuta i benefici correlati all'impiego di uno scambiatore di calore terra-aria in un NZEB, sia dal punto di vista del risparmio energetico e sia per la riduzione delle emissioni di CO₂, in un clima Mediterraneo.

L'involucro dell'edificio scelto è termicamente performante. Il sistema HVAC consiste in moduli ventilconvettori connessi ad una pompa di calore da aria ad acqua e ventilazione meccanica. Il fabbisogno energetico viene ridotto attraverso l'impiego di uno scambiatore di calore da terra ad aria che pre-riscalda la ventilazione esterna in inverno e la raffredda in estate. L'ottimizzazione dello scambio termico con il terreno è un elemento chiave per ridurre le principali cause di fabbisogno energetico e delle relative emissioni di CO₂, specialmente durante l'estate. Inoltre, questo articolo stima la possibilità di ottenere un edificio a fabbisogno energetico prossimo allo zero utilizzando solamente energia rinnovabile disponibile in loco (sul tetto dell'edificio) con e senza lo scambiatore terra-aria. Inoltre, vengono eseguite analisi ambientali e sulla rendita termica.

Un approccio di ricerca quantitativo viene impiegato nel modellare le capacità PV necessarie, flussi di cassa netti presenti, sussidi, e creazione di lavoro [9]. I risultati mostrano che alle presenti tariffe energetiche e alle attuali capacità e livelli di produzione del PV solare, case unifamiliari ed altre tipologie di edifici, necessitano rispettivamente di 0.044 €/kWh, 0.037 €/kWh, e 0.024 €/kWh, in sussidi governativi sull'energia rivenduta alla rete. Gli edifici adibiti ad ufficio sono redditizi senza i sussidi. In questo studio, discutiamo gli investimenti in RE, specificamente su tecnologie PV, che porteranno approssimativamente 2.1 M€ di reddito addizionale al governo Estone su un periodo di 20 anni, quando le dichiarazioni di reddito supereranno i sussidi. Tuttavia, è atteso che gli investimenti per nZEB diventino a costo-ottimizzato senza l'ausilio di sussidi, per via dell'incremento nell'efficienza e l'abbassamento dei costi dei sistemi PV.

I requisiti di prestazione energetica per gli edifici che mirano a nZEB sono stati recentemente stabiliti dalla legislazione nazionale. In Italia, questi requisiti sono verificati attraverso la costruzione di riferimenti nozionali, i quali valori U vengono ridotti in due passi: sino a 2018 e dal 2019 per edifici pubblici e sino al 2020 e dal 2021 per tutti i restanti edifici. Questo può causare una riduzione nel fabbisogno di riscaldamento ma può altresì portare ad un incremento del fabbisogno di raffreddamento. L'obiettivo dello studio [10] è quello di indagare quali siano le condizioni, e con quale estensione, che possono portare ad uno sbilanciamento significativo nel fabbisogno energetico.

Lo studio [11] si concentra sul potenziale di riduzione del fabbisogno energetico in un edificio residenziale tipico Greco. È stato progettato un edificio modello, rappresentativo della media degli edifici residenziali. È stata condotta una investigazione e sono stati valutati vari

parametri legati al fabbisogno energetico dell'edificio come l'isolamento, aperture e dispositivi di ombreggiatura. Sul modello è stata portata a termine una esame in tutte e quattro le zone climatiche Greche utilizzando un software di simulazione dinamico per determinare il fabbisogno energetico. I risultati suggeriscono che le soluzioni costruttive più efficienti per ogni zona climatica risiedono nella varia combinazione di parametri. La giusta combinazione di fattori per ogni zona climatica può contribuire in maniera significativa alla riduzione del fabbisogno energetico, che può crescere al 30% e pertanto ridurre la richiesta annua anche al di sotto di 50kWh/m².

L'articolo [12] stabilisce l'efficacia di diverse strategie di controllo dei sistemi di ventilazione, includendo ERV allo scopo di ottimizzare il fabbisogno energetico di dimore localizzate in diverse città nel Sud Europa. Al fine di minimizzare l'impiego indesiderato degli ERV (Energy Recovery Ventilators), che porterebbero ad un aumento del fabbisogno energetico durante le stagioni invernali ed estive, sono state studiate possibili strategie di controllo. Vengono inoltre studiati l'impatto dell'efficacia latente e l'effetto del raffreddamento libero sul fabbisogno energetico da condizionamento dell'aria.

I risultati dello studio [13] mostrano che riqualificazioni approfondite di edifici residenziali datati consentono il raggiungimento dei requisiti di prestazioni energetiche relativi a edifici con fabbisogno energetico prossimo allo zero. Con riqualificazioni nZEB le riduzioni ammontano a circa 70% per energia distribuita finale (riscaldamento + elettricità) e circa 60% in fabbisogno energetico primario. Il periodo di ammortamento per una riqualificazione in ottica nZEB, senza incremento dei proventi da locazione è approssimativamente di 30 anni. Nella migliore delle ipotesi, il periodo di ammortamento per riqualificazioni nZEB, tenendo conto l'incremento dei proventi da locazione annui è di circa 8 anni.

L'nZEB presentato nell'articolo [14] sarà costruito a Napoli (Sud-Italia). L'edificio comprenderà uffici, spazi espositivi e una sala conferenze. Vengono prese in considerazione diverse strategie innovative di efficienza energetica, riguardanti l'involucro dell'edificio e gli impianti. L'edificio comprenderà uffici, spazi espositivi e una sala conferenze. Vengono prese in considerazione diverse strategie innovative di efficienza energetica, riguardanti l'involucro dell'edificio e gli impianti.

Il loro vantaggio in termini di rendimento energetico è valutato da un nuovo codice di simulazione delle prestazioni energetiche degli edifici sviluppato in casa (DETECT 2.2) scritto in MatLab.

Una procedura di ottimizzazione e un'analisi di sensitività del progetto cardine e dei parametri operativi vengono eseguiti sia dal punto di vista energetico che economico.

I risultati numerici ottenuti mostrano che è possibile ottenere interessanti risparmi energetici e economici.

Il documento [15] analizza la CorTau House in termini di aspetti architettonici, prestazioni energetiche e redditività economica. Rappresenta una significativa esperienza di design italiano in cui la qualità architettonica della ristrutturazione di un edificio rurale tradizionale è combinata con soluzioni energetiche ad alte prestazioni.

Un caso studio di ristrutturazione radicale di un edificio storico è Ca 'S. Orsola a Treviso. È governato dalla Regione Veneto storica e architettonica. L'edificio è stato trasformato in un

prestigioso complesso residenziale da un importante intervento di ristrutturazione mirato principalmente al potenziamento sismico e all'energia.

Le prestazioni energetiche e ambientali dell'edificio sono state analizzate mediante simulazione numerica e misurazione sperimentale nel contesto EBC IEA Annex 56 al fine di verificare che le strategie di intervento rispettino la riduzione del consumo energetico, la riduzione al minimo delle emissioni di CO₂ e l'ottimizzazione del utilizzo di fonti di energia rinnovabile [16].

Il contributo di energie da fonti rinnovabili è dato in 6,56 kWh/m²anno: il calcolo e il monitoraggio forniscono una produzione di circa 3300 kWh per sistemi fotovoltaici e 8500 kWh per il solare termico.

Il risparmio energetico è di 329,64 kWh/m²anno, inclusi riscaldamento, ACS e sistemi di ventilazione.

Ogni appartamento del blocco è certificato in classe A; vetri a basse emissioni energetiche, strato isolante ad alte prestazioni, l'installazione di un sistema di ventilazione meccanica con un recuperatore di calore, l'integrazione di pannelli solari per ACS sono i principali mezzi adottati per raggiungere un alto livello di certificazione.

Le misure di rinnovamento diminuiscono il consumo energetico globale, riduzione fino al 90%; i sistemi solari termici e fotovoltaici hanno contribuito a ridurre al minimo il consumo di energia.

È stata effettuata un'analisi comparativa numerica sul raffreddamento e il riscaldamento di un edificio storico situato ad Agrigento (Sicilia, Italia) mediante due strumenti energetici: Termo e Trnsys [17]. Per ottenere risultati affidabili, i dati climatici misurati estratti da una stazione meteorologica situata vicino all'edificio di riferimento sono stati utilizzati come input per le simulazioni. A partire dai risultati della simulazione, sono stati ipotizzati diversi scenari di retrofit, al fine di raggiungere l'obiettivo NZEB, e quindi seguiti da un'analisi dei costi effettuata per raggiungere soluzioni economiche ottimali e risparmi energetici. Lo studio può costituire un contributo alla formulazione delle politiche e all'adozione di misure per facilitare le scelte progettuali per il miglioramento energetico degli edifici storici.

La metodologia ottimale sotto il profilo dei costi unitamente alle analisi statistiche sviluppate con il software MiniTab è stata applicata per analizzare una nuova casa monofamiliare ad alte prestazioni, nel Nord Italia, al fine di definire come gli aspetti energetici ed economici potrebbero influenzare la fase di progettazione preliminare del progetto [18].

La procedura di progettazione integrata si concentra sul problema di un gran numero di varianti di edifici disponibili riguardanti l'involucro dell'edificio. L'obiettivo è quello di cercare quelli che minimizzano la domanda di energia invernale ed estiva senza compromettere il comfort termico.

L'approccio metodologico adottato nello studio [19] combina l'uso dello strumento di simulazione dinamica dell'energia (EnergyPlus), basato su un metodo di soluzione a differenza finita di conduzione unidimensionale e un algoritmo di ottimizzazione multi-obiettivo vincolato.

Per quattro città (Madrid, Nizza, Napoli, Atene), vengono confrontate diverse strategie passive: proprietà termiche dell'involucro dell'edificio, adozione di materiali a cambiamento di fase con diverse temperature di fusione, soluzioni per tetti freschi, diversi valori di rapporto finestra / parete, alcuni esterni e sistemi di ombreggiamento interni. I risultati consentono di dimostrare che è difficile comprendere il miglior compromesso tra prestazioni estive e invernali, garantendo un elevato standard di comfort termico quando l'obiettivo è raggiungere gli obiettivi NZEB nel clima mediterraneo.

Gli edifici pubblici costituiscono una classe specifica di edifici che richiedono un'analisi complessa dal punto di vista statistico, prendendo in considerazione la definizione e le tipologie e altri parametri specifici relativi.

La ricerca [20] si concentra sull'analisi degli stock di edifici pubblici nei paesi coperti dal consorzio del progetto europeo RePublic_ZEB, al fine di definire parametri pertinenti che caratterizzano gli edifici pubblici di riferimento che saranno considerati nell'ulteriore analisi relativa alla valutazione di pacchetti economicamente convenienti di soluzioni ai livelli di performance nZEB.

I risultati presentati nel documento [21] mostrano che, nel clima portoghese e per un tipico edificio multifamiliare, è possibile superare il 100% del fabbisogno energetico per la preparazione dell'acclimatazione e dell'acqua calda domestica (DHW) con l'integrazione di sistemi solari. Dai nostri risultati, è anche possibile concludere che una quantità significativa di energia e emissioni di carbonio sono evitate per ogni scenario di ristrutturazione durante la vita considerata (30 anni) e che gli scenari nZEB e ZEB sono convenienti con tempi di ammortamento interessanti.

Nel documento [22] viene presentato un nuovo modello computerizzato per la previsione della domanda energetica di edifici che integrano materiali a cambiamento di fase, collettori fotovoltaici-termici, zone solari adiacenti e un innovativo controllo della luce diurna. Attraverso questo strumento, DETECT 2.2, scritto in MatLab e concepito per scopi di ricerca, è possibile valutare l'energia e le prestazioni economiche complessive degli NZEB multi-zona. Sia gli effetti attivi che passivi sulle esigenze energetiche di tutte le tecnologie sopra citate, anche se utilizzate simultaneamente, sono prese in considerazione mediante un approccio integrato di modellazione degli edifici. Inoltre, le analisi parametriche e di sensibilità, con una singola simulazione, possono essere eseguite per scopi di progettazione.

È stato sviluppato un nuovo caso studio pertinente riferito al progetto energetico di un NZEB non residenziale per climi mediterranei. Per questo edificio è stata effettuata anche un'adeguata analisi di ottimizzazione energetica. Per ogni utilizzo dello spazio interno, viene calcolato il valore ottimale del progetto cardine e dei parametri operativi. Vengono forniti dettagli sulla posizione ottimale di costruzione di PCM e strati di isolamento termico, accoppiati anche ai sistemi BIPV e / o BIPV / T.

Per la migliore configurazione ottenuta vengono raggiunte richieste di riscaldamento e raffreddamento molto basse (0,9 e 1,5 kWh / m³ anno, rispettivamente).

Il documento [23] descrive l'attività di modellizzazione energetica dinamica eseguita per ottenere un n + NZEB (allo stesso tempo Net and Nearly Zero Energy Building), a partire dalla fase iniziale della progettazione fino alla gestione della costruzione.

Lo strumento di modellazione IES <VE> è stato utilizzato per assistere il pianificatore di strategie nella definizione degli obiettivi di sostenibilità e degli specialisti nella progettazione dettagliata del sistema HVAC, delle facciate vetrate e delle apparecchiature di illuminazione. Quindi, il modello energetico è stato aggiornato dopo ogni variazione verificatasi durante la fase di costruzione e i risultati della simulazione dinamica sono stati controllati per garantire le prestazioni energetiche previste.

Una più accurata modellizzazione dell'energia degli edifici basata su un metodo di simulazione dinamica oraria è una soluzione promettente per ridurre le discrepanze nel consumo energetico calcolato e misurato. È interessante riportare l'articolo [24] che indaga sull'uso dell'energia calcolata e misurata di appartamenti monitorati in un condominio ad alta efficienza energetica Eco Silver House impegnata a soddisfare i requisiti nazionali di edifici a energia quasi zero (nZEB). Il monitoraggio di 20 appartamenti (alcuni completamente in uso, alcuni non occupati ma moderatamente riscaldati) è stato fatto nella prima stagione di riscaldamento dopo il completamento dell'edificio.

Per due appartamenti selezionati viene presentato il confronto dettagliato del consumo energetico calcolato con due strumenti basati sul metodo mensile (PHPP e nazionale) e con una simulazione oraria del software IDA ICE. Vengono discusse le carenze e i vantaggi dei metodi di calcolo applicati e viene sottolineata l'importanza della simulazione dinamica nella progettazione di nZEB.

Tra l'altro, mediante simulazione dinamica, le prestazioni energetiche di due appartamenti simulati in condizioni limite transitorie hanno dimostrato la conformità degli indicatori energetici dell'appartamento in fase di progettazione e in esercizio.

L'ottimizzazione della produzione di acqua calda sanitaria (ACS) negli edifici residenziali sfrutta il comportamento degli occupanti appresi attivamente e i modelli per la termodinamica del serbatoio di stoccaggio per azionare il meccanismo di riscaldamento - una pompa di calore aria-sorgente (ASHP) in questo caso - alla massima efficienza possibile [25]. L'algoritmo proposto, mentre viene testato su un ASHP, è sostanzialmente disaccoppiato dal meccanismo di riscaldamento rendendolo sufficientemente robusto da generalizzare anche ad altri tipi di meccanismi di riscaldamento.

I risultati della simulazione per questa ottimizzazione basata sui dati di 46 Net-Zero Energy Buildings (NZEB) nei Paesi Bassi mostrano una riduzione del consumo di energia per ACS del 20% utilizzando un approccio euristico computazionale economico, e il 27% quando si utilizza un metodo basato sull'ottimizzazione delle colonie ibride più intensivo. Il risparmio energetico dipende fortemente dal livello di comfort degli occupanti.

Ciò è dimostrato nelle impostazioni del mondo reale per una casa a basso consumo in cui il controllo attivo è stato eseguito utilizzando l'euristica per 3,5 mesi e ha comportato un risparmio energetico del 27% (61 kWh). È semplice estendere gli stessi modelli per eseguire la gestione lato domanda automatica (ADSM) trattando il serbatoio dell'acqua calda sanitaria come un dispositivo che supporta la flessibilità.

Nell'ambito della progettazione del sistema HVAC utilizzando fonti di energia rinnovabile (RES), per edifici residenziali [26], le FER sono rappresentate dalla costruzione di sistemi fotovoltaici integrati (BIPV) e di energia aerotermica. La richiesta di riscaldamento, raffreddamento e ACS è infatti soddisfatta da una pompa di calore aria-acqua reversibile e ad alta efficienza con modulazione continua della potenza, ottimizzata per lo scopo specifico, alimentata direttamente in corrente continua (DC) dal PV.

L'eventuale surplus di produzione fotovoltaica può essere immagazzinata sotto forma di energia termica grazie a un sistema di accumulo dedicato per fornire riscaldamento, raffreddamento o produzione di ACS nei periodi in cui non vi è alcuna o bassa radiazione solare. Inoltre, il sistema è in grado di minimizzare il picco di domanda di energia elettrica, in base alla corrispondenza tra la produzione di elettricità fotovoltaica e la domanda di energia termica utilizzabile / memorizzabile. I risultati delle simulazioni energetiche su un caso studio residenziale dimostrano l'efficacia del sistema proposto rispetto agli standard NZEB.

Lo studio [27] mira a investigare il raggiungimento di 4 bilanciamenti nZEB, NZEB-PE, NZEB-site, NZEB-emissions, NZEB-cost, energia in sito, emissioni CO₂ e costo dell'energia, rispettivamente, utilizzando fattori soppesati e sette sistemi CHP calore ed energia condivisi o a se stanti basati su biomasse.

Realizzando la casa con un alto valore di efficienza termica (o aggiungendo collettori solari termici) per tutti i sistemi oggetto dello studio risulta essere un passo verso il raggiungimento di NZEB-PE, NZEB-cost ed NZEB-site. Al contrario, raggiungere emissioni di livello NZEB tramite CHP condivisi allacciati alla casa standard è più semplice che con la casa passiva. Il bilanciamento NZEB-PE è più facilmente ottenibile da CHP condivisi che da CHP a se stanti. NZEB-PE è più semplice da raggiungere utilizzando fattori internazionali rispetto a fattori finlandesi.

Lo studio [28] punta a ricercare come varie tipologie di sistemi di riscaldamento e raffreddamento, basati su diversi modelli di trasferimento di calore, siano capaci di interagire diversamente con la massa termica dell'edificio, producendo un livello differente della sua attivazione. La ricerca considera un caso studio utilizzato per compiere simulazioni dinamiche per mezzo di DesignBuilder, un'interfaccia utente di EnergyPlus. Il modello consiste in un edificio con geometria elementare ed una singola zona termica, delimitata da pareti aventi uno strato di isolamento termico all'esterno ed uno strato di accumulazione termica all'interno. Viene analizzata la variazione della temperatura interna impiegando differenti tipologie di sistemi di condizionamento al fine di individuare la tecnologia che meglio sfrutta la massa termica.

Viene proposto un sistema ibrido per l'integrazione della ventilazione naturale e meccanica in diversi periodi dell'anno [29].

Per la stagione fredda è stato progettato un sistema di ventilazione meccanica con tubi di terra e recupero di calore, insieme a tenuta d'aria, serre solari e alta massa termica e isolamento.

Per la stagione calda il progetto consente un utilizzo a funzionamento libero: ventilatori a goccia aperti applicati a finestre che forniscono ventilazione di fondo, massa e isolamento attenuano i carichi di calore, i ventilatori assiali verticali supportano la ventilazione naturale e il raffrescamento notturno gratuito.

Le condizioni di comfort interno nella stagione calda sono valutate in base al modello adattativo ASHRAE 55 per edifici a corsa libera. Il comfort interno nella stagione calda è verificato con una simulazione dinamica multizone e un'analisi CFD. I risultati dello studio confermano che nella stagione calda si possono ottenere condizioni di comfort interno accettabili in un nZEB in funzionamento libero.

1.3 Attestati di Prestazione Energetica (APE)

L'Italia ha recepito la **Direttiva 2010/31/UE** sulla prestazione energetica nell'edilizia **con la legge 3 Agosto 2013. N. 90** con le modificazioni del Decreto legge 4 giugno 2013, n. 63, con cui è stato integrato e modificato l'articolo del decreto legislativo 19 Agosto 2005, n. 192 recante l'attuazione della precedente direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

La Commissione europea ha stimato che la Direttiva ridurrà i consumi energetici totali dell'UE del 5-6% entro il 2020 e creerà fra 280000 e 450000 posti di lavoro. Tale politica è importante per la competitività del settore edilizio ed è parte integrante della visione a lungo termine dell'UE per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva definita nella strategia Europa 2020.

La politica europea per l'efficienza energetica e le energie rinnovabili infatti stimola la ripresa economica e promuove la crescita e la creazione e il mantenimento di posti di lavoro.

In particolare la legge 90/2013 estende il campo di applicazione del DLgs 192/2005 a tutti gli "edifici, unità immobiliari ed elementi edilizi sottoposti a ristrutturazioni importanti" senza alcun vincolo circa la metratura minima dell'immobile (prima fissata in 1000 m²). Un edificio esistente è sottoposto a ristrutturazione importante quando i lavori di manutenzione ordinaria o straordinaria, di ristrutturazione o risanamento conservativo) insistono su oltre il 25% della superficie dell'involucro dell'intero edificio, comprensivo di tutte le unità immobiliari che lo costituiscono (rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell'impermeabilizzazione delle coperture).

Inoltre introduce l'adozione a livello nazionale di una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici che tenga conto degli aspetti quali le caratteristiche termiche dell'edificio, degli impianti di climatizzazione e di produzione di acqua calda, dei sistemi di cogenerazione dell'elettricità, degli impianti di teleriscaldamento o teleraffrescamento urbano o collettivo. In conformità a tale metodologia di calcolo determina dei requisiti minimi di prestazione energetica, in modo da conseguire livelli ottimali in funzione dei costi durante il ciclo di vita economico stimato dell'edificio.

Molto importante è la definizione di introdotta a livello nazionale di "edifici a energia quasi zero", con le relative strategie ai fini del raggiungimento degli obiettivi, in particolare che entro il 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero, mentre quelli occupati dalle Amministrazioni pubbliche e di proprietà di queste ultime a partire dal 31 dicembre 2018, e la sostituzione dell'Attestato di Certificazione Energetica (ACE) con l'**Attestato di Prestazione Energetica (APE)** ora esteso anche ai casi di locazione di un edificio o di un'unità immobiliare e agli edifici occupati dalla pubblica amministrazione.

Ai sensi del DLgs 192/2005, per "prestazione energetica di un edificio" si intende la quantità annua di energia primaria effettivamente consumata o che si prevede essere necessaria per soddisfare, con un uso standard degli immobili, i vari bisogni energetici dell'edificio quali la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per gli usi igienici sanitari, la ventilazione e, per il settore terziario l'illuminazione, gli impianti ascensore e le scale mobili.

Ai fini delle verifiche progettuali del rispetto dei requisiti minimi, deve essere quindi effettuato il calcolo dell'energia primaria totale (non rinnovabile+rinnovabile) espresso tramite l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio (EP_{gl,tot}).

Ai fini della classificazione degli edifici per la redazione dell'attestato di prestazione energetica, si effettua invece il calcolo del consumo globale della sola energia primaria non rinnovabile ($EP_{gl,ren}$).

Tra le novità più rilevanti, ai fini del calcolo dei valori limite da applicare agli edifici di nuova costruzione e quelli soggetti ad interventi di ristrutturazione importante è l'introduzione dell'edificio di riferimento.

L'edificio di riferimento o "target per un edificio sottoposto a verifica progettuale, diagnosi, o altra valutazione energetica" è definito come l'edificio identico in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati (DLgs 192/2005).

Si intende quindi un edificio avente un fabbricato di riferimento e impianti tecnici di riferimento, mentre per i dati di input e i parametri non definiti nel decreto si utilizzano i valori dell'edificio reale.

1.4 Diagnosi energetiche

Le prestazioni termiche degli edifici si riferiscono ai processi di scambio termico che si verificano tra l'edificio e il suo ambiente, attraverso mezzi diversi.

Una delle modalità di trasmissione del calore è la conduzione attraverso le pareti, i tetti, i pavimenti, ecc. Un altro modo è la convezione da diverse superfici all'ambiente. La radiazione solare viene assorbita dalle superfici interne dell'edificio dopo essere penetrato attraverso le finestre. Inoltre, il calore viene aggiunto allo spazio dalle varie fonti interne come occupanti, luci, apparecchiature, ecc. Il flusso d'aria da o verso lo spazio attraverso l'infiltrazione e la ventilazione contribuisce a portare o rimuovere il calore.

Attraverso le diagnosi energetiche degli edifici è possibile individuare eventuali inefficienze di un sistema edificio-impianto e vengono proposti interventi di miglioramento per ridurre tali inefficienze, quantificando sia i risparmi conseguenti che la redditività economica di tali interventi.

Con la simulazione termoenergetica dinamica vengono esaminati nel dettaglio temporale, cioè in regime dinamico, gli effetti delle scelte progettuali che si intende compiere e di conseguire l'obiettivo di progettare e di riqualificare gli edifici esistenti in modo da ottenere prestazioni tali da minimizzare il costo globale (investimento più costo di esercizio) nella logica del nearly Zero Energy Building di cui parla la Direttiva Europea 2010/31/UE.

1.4.1 Bilancio termico

In base alla teoria messa a punto dal danese Pavel Ole Fanger (1934-2006), la sensazione di caldo o di freddo è proporzionale al carico termico S , definito come differenza tra l'energia generata dal corpo umano e l'energia termica dispersa.

$$S = (M - W)A_b - C - R - K - E - C_{res} - E_{res}$$

S = carico termico [W]

M = flusso metabolico [W/m^2]

W = potenza meccanica efficace [W/m^2]

A_b = area del corpo umano nudo [m^2]

C = flusso termico convettivo [W]

R = flusso termico radiativo [W]

E = flusso termico evaporativo [W]

K = flusso termico conduttivo [W]

C_{res} = flusso termico convettivo nella respirazione [W]

E_{res} = flusso termico evaporativo nella respirazione [W]

In condizioni di benessere il carico termico risulta nullo: $S=0$ e il bilancio energetico del corpo umano, trascurando lo scambio termico per conduzione K risulta:

$$(M - W)A_b = C + R + E_d + E_s + C_{res} + E_{res} \text{ (equazione del benessere)}$$

L'equazione del benessere termoigrometrico mette in relazione tra loro:

- **Variabili legate all'individuo** (attività metabolica M e resistenza dell'abbigliamento I_{cl});
- **Variabili microclimatiche** (temperatura dell'aria t_a , temperatura media radiante t_r , umidità relativa dell'aria w_{ar});
- **Variabili fisiologiche** regolate direttamente dal sistema termoregolatore del corpo umano (temperatura della pelle t_{sk} e potenza per sudorazione E_s).

La **teoria di Fanger** indica che la sensazione di benessere termoigrometrico dell'uomo dipende dai seguenti parametri:

Parametri riferiti alla persona	metabolismo	M	[met] o [W/m^2]
	resistenza all'abbigliamento	I_{cl}	[clo] o [m^2K/W]
Parametri ambientali	temperatura dell'aria	t_a	[°C]
	temperatura media radiante	$\overline{t_r}$	[°C]
	umidità relativa dell'aria	ϕ_a	[.] o [%]
	velocità relativa dell'aria	w_{ar}	[m/s]

Gli **indici di benessere termoigrometrico** servono per valutare lo scostamento dalle condizioni di benessere negli ambienti termicamente moderati; si possono suddividere in:

- Indici di comfort globale

Prendono in considerazione i valori dei quattro parametri ambientali, considerati uniformi nello spazio che circonda l'individuo (temperatura dell'aria, velocità dell'aria, temperatura media radiante, umidità relativa);

- Indici di comfort locale

Tengono conto della distribuzione spaziale delle variabili microclimatiche

- Indici di temperatura

Esprimono la condizione di benessere mediante un'opportuna temperatura equivalente; sono i primi ad essere stati introdotti e sono di tipo empirico, ovvero dedotti solo in base ad indagini statistiche (ad es. la temperatura effettiva ET non viene presa in considerazione).

- Indici di sensazione

Esprimono la condizione di benessere che un individuo medio fornisce sul microclima, basata sulla sensazione di caldo/freddo provata; sono di tipo razionale, ovvero sono il frutto di un approccio integrato basato sull'equazione di bilancio termico e sull'indagine statistica, come ad es. il PMV (voto medio previsto) e la PPD (percentuale prevista di insoddisfatti) (S. Bergero, A. Chiari).

- Indice PMV

L'indice PMV predice il valore medio dei voti di un significativo gruppo di persone nei confronti di un microclima di un ambiente moderato, espresso in una scala di sensazione termica a sette punti, come previsto dalla UNI EN ISO 7730:2006.

L'indice PMV è basato sul bilancio di energia termica del corpo umano. L'uomo è in equilibrio termico quando l'energia termica generata all'interno del corpo è uguale all'energia termica dispersa nell'ambiente.

L'indice PMV può essere ricavato in condizioni di regime stazionario ($S=0$), in funzione dei sei parametri presenti nell'equazione del benessere (vedi tabella), ma può essere usato con buona approssimazione anche nel caso di lievi fluttuazioni di una o più variabili, considerando le medie temporali relative all'ultima ora.

La norma UNI EN ISO 7730:2006 raccomanda di usare l'indice PMV solo per $-2 \leq \text{PMV} \leq +2$ e quando i sei parametri sono compresi nei seguenti intervalli:

$46 \text{ W/m}^2 \leq M \leq 232 \text{ W/m}^2$ oppure $0.8 \text{ met} \leq M \leq 4 \text{ met}$,

$0 \text{ m}^2\text{K/W} \leq I_{\text{clo}} \leq 0.310 \text{ m}^2\text{K/W}$ oppure $0 \text{ clo} \leq I_{\text{clo}} \leq 2 \text{ clo}$

$10^\circ\text{C} \leq t_{\text{a}} \leq 30^\circ\text{C}$

$0 \text{ m/s} \leq v_{\text{a}} \leq 1 \text{ m/s}$

$0 \text{ Pa} \leq p_{\text{v,a}} \leq 2700 \text{ Pa}$

La determinazione dell'indice PMV può essere effettuata anche utilizzando le tabelle riportate nell'appendice E della UNI EN ISO 7730:2006.

L'influenza di ϕ_a sulla sensazione termica per temperature moderate vicine a quelle di benessere è modesta e può essere quindi in genere trascurata nel calcolo di PMV.

L'indice PMV può anche essere misurato mediante una centralina per analisi microclimatiche, detta anche comfortometro, dotata di sonde per la misura contemporanea della temperatura media radiante, della velocità dell'aria, della temperatura e dell'umidità dell'aria e in grado anche di elaborare i dati fornendo direttamente il valore PMV, previa l'impostazione della resistenza dell'abbigliamento e dell'attività metabolica.

All'indice PMV risulta direttamente associato un secondo indice noto come **PPD (percentuale prevista di insoddisfatti)**, che indica la percentuale di soggetti che si ritengono insoddisfatti delle condizioni microclimatiche in esame, ovvero coloro che trovano l'ambiente troppo caldo o troppo freddo, che esprimono cioè una votazione pari a molto caldo (+3), caldo (+2), freddo (-2) o molto freddo (-3) sulla scala di sensazione termica a 7 punti.

1.5 Edifici storici

Il tema dell'efficienza energetica per gli edifici esistenti è un argomento di alta priorità e importanza poiché i nuovi edifici rappresentano ogni anno solo meno del 5% del settore costruito nella maggior parte dei paesi.

Il tema diventa molto delicato nei confronti di edifici storici (che è uno dei casi di studio sviluppati durante il Dottorato). Tenuto conto della loro natura, gli edifici storici richiedono infatti interventi attentamente progettati che non comportino alcuna alterazione sostanziale del loro carattere e aspetto, in particolare in relazione al loro profilo storico, artistico e paesaggistico.

Quando si richiede l'intervento su tali edifici, l'ambito del lavoro è all'interno del campo di restauro e quindi è necessario seguire i criteri di intervento minimi, per mantenere la reversibilità e la compatibilità per un adeguato paesaggio e per l'integrazione architettonica [30]. È quindi necessario trovare un buon compromesso tra efficienza energetica e conservazione, con specifici interventi di manutenzione per ristrutturare quegli edifici usando tecniche non invasive e reversibili.

In questi casi, è necessario uno studio delle misure e delle modalità da adottare, in termini di miglioramento energetico, con particolare attenzione a preservare tutta la bellezza storica degli edifici.

Bibliografia e riferimenti

- [1] M. Filippi, E. Fabrizio, Introduzione alla simulazione termoeenergetica dinamica degli edifici, Giuda AICARR (2012), Milano, Italia.
- [2] S. Attia, P. Eleftheriur, F. Xeni, R. Morlot, J. M. Hidalgo-Betanzos, Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe Energy and Buildings, volume 155, 15 November 2017, Pages 439-458
- [3] P. Pihelo, T. Kalamees, K. Kuus, nZEB Renovation with Prefabricated Modular Panels Energy Procedia, Volume 132, October 2017, Pages 1006-1011
- [4] S. Guillén-Lambea, B. Rodríguez-Soria, J. M. Marín, Comfort settings and energy demand for residential nZEB in warm climates, Applied Energy, Volume 202, 15 September 2017, Pages 471-486
- [5] C. Wemhoener, R. Schwarz, L. Rominger, IEA HPT Annex 49-Design and integration of heat-pumps in nZEB, Energy Procedia, Volume 122, September 2017, Pages 661-666
- [6] M. Ferrara, E. Fabrizio, Cost optimal nZEB in future climate scenarios Energy Procedia, Volume 122, September 2017, Pages 877-882
- [7] E. Peñalvo-López, F. J. Càrcel-Carrasco, G.C. Christoforidis, A. Nousedilis, G.K. Papagiannis, Upgrading Qualification of European Energy Professionals in nZEB – The MEnS Project, Procedia Environmental Sciences, Volume 38, 2017, Pages 898-904
- [8] F. Ascione, D. D'Agostino, C. Marino, F. Minichiello, Earth-to-air heat exchanger for nZEB in Mediterranean climate, Renewable Energy, volume 99, December 2016, Pages 553-563
- [9] E. Pikas, J. Kurnitski, M. Thalfeldt, L. Koskela, Cost-benefit analysis of nZEB energy efficiency strategies with on-site photovoltaic generation, Energy, Volume 128, 1 June 2017, Pages 291-301
- [10] G. Murano, I. Ballarini, D. Dirutigliano, E. Primo, V. Corrado, The significant imbalance of nZEB energy need for heating and cooling in Italian climatic zones, Energy Buildings (nZEBs), Procedia Environmental Sciences, Volume 38, 2017, Pages 258-265
- [11] S. Charisi, The Role of Building Envelope in Achieving Nearly-zero Energy Buildings (nZEBs), Procedia Environmental Sciences, Volume 38, 2017, Pages 115-120
- [12] S. Guillén-Lambea, B. Rodríguez-Soria, J. M. Marín, Control strategies for energy Recovery Ventilators in the South of Europe for residential nZEB-Quantitative analysis of the air conditioning demand, Energy and Buildings, Volume 146, 1 July 2017, Pages 271-282
- [13] K. Kuus, T. Kalamees, nZEB Retrofit of a Concrete Large Panel Apartment Building, Energy Procedia, Volume 78, November 2015, Pages 985-990
- [14] A. Buonomano, U. Montanaro, A. Palombo, M. Vicidomini, nZEBs in Mediterranean Climates: Energy Design and Optimization for a Non-residential Building, Energy Procedia, Volume 82, December 2015, Pages 458-464
- [15] V. M. Barthelmes, C. Becchio, S. P. Corgnati, C. Guala, Design and Construction Of a nZEB Piedmont Region, North Italy, Energy Procedia, Volume 78, November 2015, Pages 1925-1930
- [16] T. Dalla Mora, F. Cappelletti, F. Peron, R. Romagnoni, F. Bauman, Retrofit of an Historical Building towards NZEB, Energy Procedia, Volume 78, November 2015, Pages 1359-1364

- [17] L. Mauri, Feasibility Analysis of Retrofit Strategies for the Achievement of NZEB Target on a Historic Building for Tertiary Use, *Energy Procedia*, Volume 101, November 2016, Pages 1127-1134
- [18] C. Becchio, M. C. Bottero, S.P. Corgnati, C. Ghiglione, nZEB Design: Challenging between Energy and economic Targets, *Energy Procedia*, Volume 78, November 2015, Pages 2070-2075
- [19] F. Ascione, R.F. De Masi, F. de Rossi, S. Ruggiero, G. P. Vanoli, Optimization of building envelope design for nZEBs in Mediterranean climate: Performance analysis of residential case study, *Applied Energy*, Volume 183, 1 December 2016, Pages 938-957
- [20] L. Aelenei, H. Petran, J. Tarrés, G.Riva, K. Sfakianaki, New Challenge of the Public Buildings: nZEB Findings from IEE RePublic_ZEB Project, *Energy Procedia*, Volume 78, November 2015, Pages 2016-2021
- [21] S. Monteiro Silva, R. Mateus, L. Marques, M. Ramos, M. Almeida, Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB design concept in Portugal – Energy, economics and environmental life cycle analysis, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 156, November 2016, Pages 59-74
- [22] A. Buonomano, G.De Luca, U. Montanaro, A. Palombo, Innovative technologies for NZEBs: An energy and economic analysis tool and a case study of a non-residential building for the Mediterranean climate, *Energy and Buildings*, Volume 121, 1 June 2016, Pages 318-343
- [23] C. Micono, G. Zanzotterra, Energy Modelling for NZEBs: A Case study, *Energy Procedia*, Volume 78, November 2015, Pages 2034-2039
- [24] M. Šijanec Zavrl, G. Stegnar, Comparison of Simulated and Monitored Energy Performance Indicators on NZEB Case Study Eco Silver House, *Procedia Environmental Sciences*, Volume 38, 2017, Pages 52-59
- [25] H. Kazmi, S. D'Oca, C. Delmastro, S. Lodeweyckx, S.P. Corgnati, Generalizable occupant-driven optimization model for domestic hot water production in NZEB, *Applied Energy*, Volume 175, 1 August 2016, Pages 1-15
- [26] N. Aste, R. S. Adhikari, C. Del Pero, F. Leonforte, Multi-functional Integrated System for Energy Retrofit of Existing Buildings: A Solution Towards nZEB Standards, *Energy Procedia*, Volume 105, May 2017, Pages 2811-2817
- [27] A. Mohamed, A. Hasan, K.Sirén, Fullfillment of net-zero energy building (NZEB) with four metrics in a single family house with different heating alternatives, *Applied Energy*, Volume 114, February 2014, Pages 385-399
- [28] N. Arcuri, C. Carpino, M. De Simone, The Role of the Thermal mass in nZEB with different Energy Systems, *Energy Procedia*, Volume 101, November 2016, Pages 121-128
- [29] F. Barbolini, P. Cappellacci, L.Guardigli, A Design Strategy to Reach nZEB Standards Integrating Energy Efficiency Measures and Passive Energy Use, *Energy Procedia*, Volume 111, March 2017, Pages 205-214
- [30] L. De Santoli, L. Bellia, S.P. Corgnati, A.F.R. D'Ambrosio, M. Filippi, L. Mazzarella, P. C. Romagnoni, F. Scurpi, *Efficienza energetica negli edifici storici*, Guida AICARR (2014), Milano, Italia.
- [31] S. Bergero, A. Chiari, *Appunti di termoigrometria e impianti*, Aracne editrice int.le S.r.l., Ariccia (2015), Italia.

2. BENCHMARK CONSUMI ENERGETICI PER DIVERSE TIPOLOGIE DI EDIFICI

In questo capitolo vengono presentate le diverse tipologie edilizie residenziali, ricettive, scolastiche, del terziario direzionale e di interesse collettivo, per le quali sono stati ricercati benchmark rispetto ai fabbisogni energetici.

La tecnica del benchmarking consiste nel ricercare degli indicatori energetici di alcuni edifici al fine di utilizzarli per altri edifici assimilabili per tipologia edilizia e destinazione d'uso a quelli presi in esame. Alcuni benchmark sono quindi stati utilizzati come metodo di validazione di simulazioni in alcune prove di simulazione del software Energy Plus (descritto nel Cap. 5) relative ad abitazioni unifamiliari e per un appartamento di un condominio e per quanto riguarda i consumi elettrici del caso di studio descritto nel capitolo 7, relativamente alla destinazione d'uso tipo albergo dell'ex caserma del Forte di Begato.

2.1 Analisi tipologie degli edifici residenziali e benchmark

Sono state considerate residenze di tipo estensivo e residenze di tipo intensivo, in modo da poter disporre degli elementi costruttivi/architettonici come base per le considerazioni energetiche.

2.1.1 Residenze estensive

Si tratta di edifici destinati ad ospitare poche unità familiari e sono generalmente costruiti su insediamenti a bassa densità edilizia, e comunque secondo gli indici di copertura e di fabbricabilità (Romano R.G. 2007).

Casa unifamiliare

DM 5 luglio 1975 caratteristiche degli ambienti residenziali: altezze minime 2,70 m - 2,40 m (servizi), rapporti aeroilluminanti (tra pavimentazione e bucature): 1/10-1/8 della superficie.

Nel caso delle unità familiari occorre fare attenzione all'orientamento, in modo da sfruttare al meglio l'irraggiamento solare, disponendo intelligentemente gli ambienti interni, preferibilmente secondo lo schema della figura 2.1.

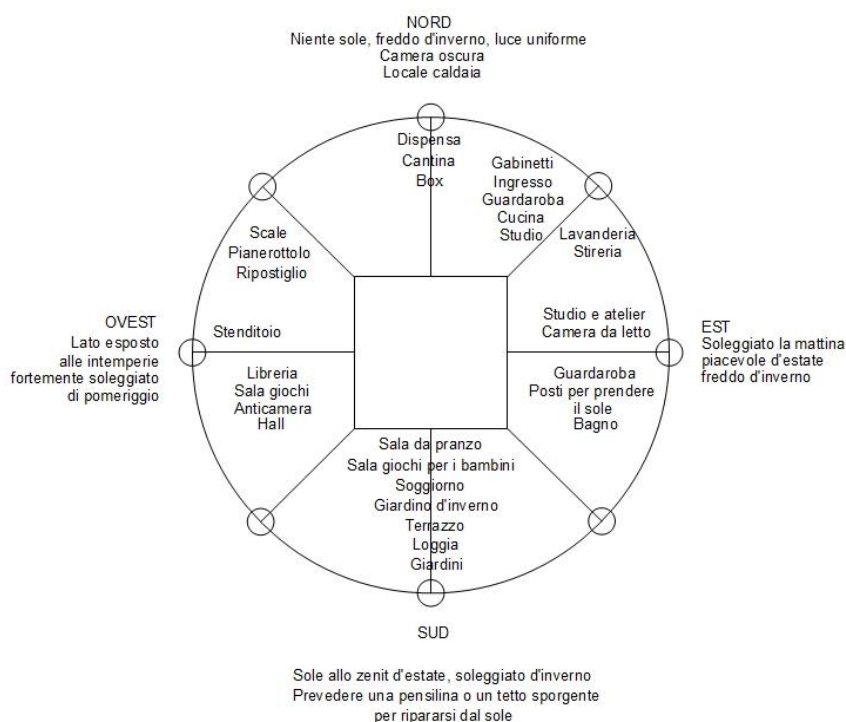


Fig. 2.1 - Studio disposizioni ambienti per lo sfruttamento ottimale dell'irradiazione e illuminazione naturale

Case a schiera

Possono essere sia nella versione simplex, duplex o triplex o con negozi al piano terra, tipico dei centri storici italiani.

Nel caso di aggregazioni su un asse rettilineo, proprio delle case a schiera, queste si orienteranno preferibilmente secondo l'asse eli termico.

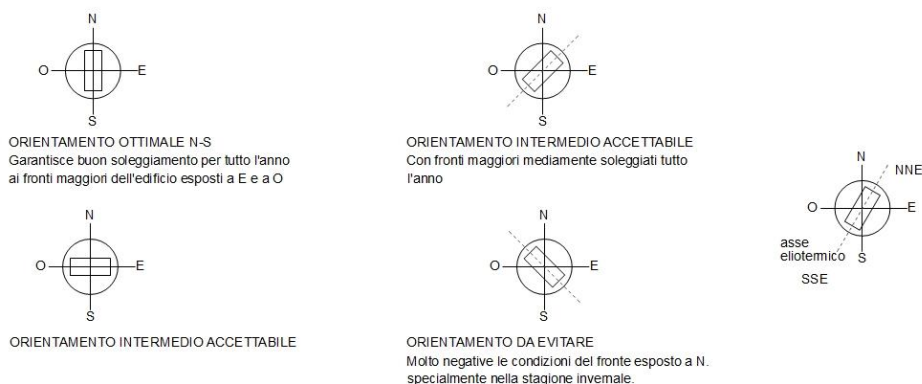


Fig. 2.2 - Studio per l'orientamento ottimale delle case a schiera

L'asse eliotermico varia a seconda della latitudine e rappresenta l'inclinazione dell'asse longitudinale di una stecca edilizia che garantisce un equilibrio di soleggiamento e conseguente guadagno termico su entrambe le facciate finestrate, quando ad esse sono associati specifici ambienti abitabili; se al contrario su una facciata finestrata sono posti i servizi (wc, scale, cucine non abitabili) questa sarà preferibilmente posta a nord, mentre gli affacci contrapposti, a sud, illumineranno gli ambienti abitabili di maggior uso (soggiorni, cucine abitabili, zone letto). In quest'ultimo caso sarà importante caratterizzare architettonicamente la facciata con elementi di schermatura solare (velette orizzontali, facciata con logge o balconi continui, elementi frangisole fissi o mobili, ecc.).

Case a patio

Questa tipologia si distingue dalle case a schiera e dalle unifamiliari isolate per la disposizione degli ambienti intorno ai patii (spazi scoperti privati) circondati per la parte libera da muri alti almeno m 2,50/3,00 per ottenere la totale privacy rispetto all'esterno, con ciò consentendo l'aggregazione lungo ogni lato.

Da un punto di vista planimetrico, la casa a patio può svilupparsi con una aggregazione ad I, ad L, ad U, ad H, a T, a Z, a croce, aggregate tra loro, a loro volta linearmente, in maniera singola, a gruppi di due, a gruppi di quattro, in serie singola o doppia.

2.1.2 Residenze intensive

Si tratta di edifici destinati ad ospitare molte unità familiari e sono generalmente costruiti su insediamenti ad alta densità edilizia, con indici di fabbricabilità elevati.

Edificio in linea

Tipologia per edilizia popolare, per istituti previdenziali e cooperative, raramente usata oggi nell'edilizia privata.

È sviluppato con minimo due blocchi e relativi corpi scala, in cui le facciate lunghe sono finestrate e le corte cieche; il piano terra può essere destinato, in alternativa, a pilotis, a destinazione commerciale, con spazi condominiali di relazione, residenziale, con appartamenti o con box privati pertinenziali.

Le dimensioni degli alloggi sono riferite ai tagli della residenza pubblica, e cioè monolocali (mq 28), bilocali (mq 45), trilocali (mq 60), e/o quadrilocali o superiori (mq 75/85 e mq 90/95).

I suddetti alloggi possono essere mono o doppio affaccio, a condizione che con un unico affaccio, questi non sia rivolto a nord.

Lo sviluppo in altezza può andare da un minimo di due piani oltre al piano terra (senza ascensore), sino a un massimo di 8/10 piani, con l'obbligo dell'ascensore quando si superano i 3 piani fuori terra. Si prevede inoltre il raddoppio degli ascensori quando si superano i 24 alloggi per corpo scala o i sette piani.

Edificio a corte, o a blocco

Si tratta di un particolare edificio residenziale plurifamiliare con articolazione realizzata da blocchi lineari e blocchi d'angolo di linea che, cambiando direzione, circoscrivono uno spazio interno, andando a creare il tipico isolato urbano della città ottocentesca. La corte che viene a

crearsi può essere chiaramente aperta o chiusa, ed inoltre la distribuzione verticale ed orizzontale può essere di tipo tradizionale o a ballatoio.

Edificio in linea a ballatoio

Tipologia molto usata nel primo Novecento, poi ripresa nell'edilizia residenziale pubblica, ad esempio Corviale (Roma), lo ZEN (Palermo), LE VELE (Bagnoli, Napoli).



Fig. 2.3 - lo ZEN di Palermo e LE VELE a Bagnoli, Napoli

Gli alloggi possono essere di tre tipologie: simplex, duplex e triplex. I simplex possono avere tagli che vanno da mq 45 a 90; i duplex e i triplex da mq 75 a 110.

La loro pianta può essere rettilinea o d'angolo.

Gli ambienti che affacciano sul ballatoio, per ovviare al problema dell'introspezione, possono avere finestre ad un'altezza di due metri dal piano di calpestio; nel tipo simplex saranno le zone giorno, nel duplex e nel triplex saranno la cucina e il bagno.

Edificio a torre

Utilizzato per interventi di edilizia sovvenzionata (IACP, ATER), di edilizia agevolata (INPS, INA, ENASARCO), edilizia convenzionata (COOPERATIVE) e privata.

Si sviluppa in altezza, con un numero di piani che va da un minimo di quattro sino ad altezze superiori a mt 80. Il basamento può essere composto da una piastra di 1 o 2 livelli adibiti a negozi di prima necessità, uffici e paracommerciale; infine, il piano cantine può essere ubicato all'ultimo piano o nell'interrato.

In ogni piano possono essere presenti da un minimo di due a quattro alloggi a piano, con tagli da mq 75 e 95, tutti doppio affaccio (pianta quadrata dell'edificio); altra soluzione è quella di avere due/tre/quattro alloggi sulla falsariga della forma di un blocco di linea tradizionale o d'angolo, questa volta però con tutti i fronti finestrati. Il numero di piani normalmente non è superiore a 15.

"Cohousing" (social housing)

Il cohousing nacque in Danimarca alla fine degli anni '60, e da allora vi è stata una progressiva diffusione negli Stati Uniti e nel resto dell'Europa.

Il termine cohousing è usato per definire degli insediamenti abitativi composti da abitazioni private corredate da ampi spazi destinati all'uso comune ed alla condivisione tra i cohousers.

Più precisamente, gli aderenti al progetto, singoli o famiglie elaborano insieme con il progettista la casa in cui andranno a vivere, mantenendo la suddivisione in appartamenti, di proprietà di ognuno, e con tutte le funzioni che conosciamo (zona giorno-notte-servizi), prevedendo però anche spazi e attività che si vogliono condividere, parte all'aperto, parte al chiuso.

Tra i servizi di uso comune, posti al piano terra o in volumi staccati dai corpi principali, vi possono essere ampie cucine e sale per attività ludiche e di doposcuola, spazi per gli ospiti, laboratori per il fai da te, spazi gioco per i bambini, palestra, piscina, internet-caffè, biblioteca, spazi verdi semiprivati ed altro.

Generalmente vengono riunite da 10 a 40 famiglie, in alloggi da 50 a 140 mq, il cui compito è quello di gestire insieme una serie di spazi dell'edificio o alcuni momenti della giornata, come ad esempio la sala per il tempo libero, la cucina condominiale, la lavanderia, la piscina, lo spazio verde, il parco auto o il servizio di portineria.

2.1.3 Benchmark degli edifici di tipo residenziale

Rispetto al Benchmark degli edifici di tipo residenziale, questo può essere collegato alla tipologia di materiali utilizzati e le tecniche di costruzione che sono caratteristiche del periodo nel quale gli edifici sono stati edificati.

Nel seguito vengono indicati i benchmark dei fabbisogni energetici annui relativamente ai periodi di costruzione e in presenza di isolamento, secondo uno studio condotto dall' École des Mines de Paris [2].

Possiamo quindi distinguere i seguenti macro periodi caratterizzati da diverse tecniche e materiali costruttivi:

1) Periodo fino alla Seconda Guerra Mondiale

Il periodo antecedente la Seconda Guerra Mondiale (edifici costruiti in modo tradizionale) può essere suddiviso in due periodi: il primo periodo in cui i vecchi edifici basavano la loro costruzione su materiali locali come la pietra, con limitate tecniche di carpenteria e il secondo periodo in cui alcuni materiali fabbricati hanno cominciato ad essere utilizzati nella costruzione di edifici come il cemento, il mattone, piastrelle a incastro, ecc.

Questi edifici consumano circa **214kWh / m²** (energia finale delle utenze) all'anno per il riscaldamento. Le pareti esterne sono composte principalmente da uno dei seguenti materiali: pietra (arenaria, calcare, granito...), mattoni di fango, mattoni, strutture in legno, o materiali misti. Per il soffitto e il tetto il materiale utilizzato è il legno. Le finestre sono semplici vetrate con struttura in legno, con un rapporto tra finestra e parete di circa il 10%. In questi edifici non viene utilizzato alcun isolamento termico specifico.

2) Strategia di costruzione dopo la seconda guerra mondiale

Alla fine della Seconda guerra mondiale c'era un bisogno urgente di ricostruire il paese devastato. Gli strumenti e le tecniche tradizionali non potevano soddisfare le notevoli e urgenti esigenze di ricostruzione. Durante questo periodo era pertanto vitale sperimentare diverse tecniche di costruzione, applicando i metodi utilizzati nell'industria al settore edilizio:

produzione di serie, di massa e standard. Questo fenomeno fu allora chiamato "industrializzazione della costruzione".

Le case prefabbricate erano la soluzione ideale perché la loro costruzione era rapida e standard. Per le singole case, il materiale da costruzione per pareti esterne erano blocchi in cemento vuoti o mattoni vuoti. Per case collettive (comunità), il materiale da costruzione era cementato armato.

Per le case costruite durante il secondo dopoguerra, il consumo energetico del riscaldamento di spazio è di circa **226 kWh / (m² anno)**. Il soffitto, il pavimento e il tetto sono composti da legno con piastrelle ad incastro o tegole di asfalto. Le finestre sono semplici vetrate e il rapporto finestra-traversa varia tra il 20 e il 27%. Non viene utilizzato alcun isolamento termico specifico.

3) Costruzioni primi anni '70

Gli edifici esistenti sono stati costruiti in prevalenza prima del 1976, ovvero prima dell'entrata in vigore della prima legge nazionale sulle prestazioni energetiche (Legge 373/76) e presentano problematiche energetiche.

Per le case costruite a partire dagli anni '70, il consumo energetico di riscaldamento è di circa **177 kWh / (m² anno)**. Il soffitto e il tetto sono composti da legno con piastrelle intercapedine o scandole in calcestruzzo come rivestimento finale. È in questi anni che l'isolamento ha cominciato ad entrare nell'edilizia; tuttavia, la sua attuazione era ancora poco diffusa.

Alcune di queste case hanno isolamento (4-10 cm di lana di vetro) sotto il soffitto o sotto il tetto spiovente. Il pavimento è composto da lastra di cemento o terracotta. Sono utilizzati due tipi di vetri: semplici o doppi, e il rapporto tra finestra e parete è di circa il 37%. In generale, nessun isolamento termico specifico viene utilizzato nelle pareti esterne.

2.1.4 Isolamento interno ed esterno

Isolamento interno: una conseguenza della crisi petrolifera del 1970

Dopo l'aumento dei prezzi del petrolio nel 1970, maggiore interesse verso la conservazione energetica, il miglioramento delle prestazioni e l'efficienza dei sistemi di riscaldamento e dell'utilizzo dell'isolamento termico nell'involucro dell'edificio.

Inoltre, l'industria petrochimica ha diversificato i suoi mercati, producendo grandi quantità di isolamento in lana di vetro e polistirene, facilitando l'adozione dell'isolamento nel settore delle costruzioni.

In un primo periodo gli edifici presentano pareti esterne composte da blocchi in muratura, mattoni vuoti o pietra, con isolamento termico con una resistenza termica - R di 2,3 (m²K)/W. Il consumo di energia per il riscaldamento annuo è di circa **142 kWh / (m² anno)**. Il soffitto / tetto è composto da legno con finitura in cemento. Inoltre, sotto il tetto scorrevole viene aggiunto l'isolamento termico (R = 4,8 (m²K)/W).

Le finestre sono semplici o a doppie vetrate e il rapporto tra finestra e parete è di circa il 25%. Il pavimento è composto da una lastra di cemento o terracotta con isolamento termico (R=1 (m²K)/W).

In un secondo periodo la maggioranza delle case vengono costruite con pareti esterne composte da blocchi di cemento (67%) e con isolamento interno con resistenza termica R di $2,4 \text{ (m}^2\text{K)/W}$. Altri hanno pareti composte da mattoni cavi con isolamento interno. Inoltre, vengono utilizzati anche altri materiali come mattoni pieni, legno, calcestruzzo cellulare.

Il consumo di energia per il riscaldamento annuo è di circa **106 kWh / (m² anno)**.

Il soffitto / tetto ha isolamento di $R = 4,8 \text{ (m}^2\text{K) / W}$. Le finestre sono semplici o a doppie vetrate e il rapporto tra finestra e parete è di circa il 25%. Il pavimento è composto da lastra di cemento o terracotta con isolamento termico con valore R di $0,8 \text{ (m}^2\text{K) / W}$ per piano terra o $R = 1,9 \text{ (m}^2\text{K) / W}$ per le intercapedini.

Con la legge 10/1991 “Norme per l’attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia” sono state introdotte norme specifiche che prevedono che ogni qualvolta si costruisca o si intervenga su un edificio con opere ex novo di manutenzione ordinaria, straordinaria, restauro e risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia e urbanistica debbano essere rispettati specifici valori di prestazioni energetiche sia per quanto riguarda l’involucro, sia per quanto riguarda gli impianti.

Per rispondere alle normative sulle prestazioni energetiche i costruttori hanno iniziato ad utilizzare materiali con caratteristiche di isolamento termico.

Isolamento esterno: il nuovo approccio

Per le case più recenti, le pareti esterne sono, generalmente, composte da blocchi di cemento con isolamento termico avente un valore R di $3 \text{ (m}^2\text{K) / W}$. Sono inoltre utilizzati nuovi tipi di mattoni vuoti (come mattoniere) che hanno prestazioni energetiche superiori a quelle utilizzate in precedenti periodi.

I soffitti e i tetti hanno isolamento termico di valore $R=6 \text{ (m}^2\text{K) / W}$.

I pavimenti hanno anche un isolamento termico ($R=3 \text{ (m}^2\text{K) / W}$) sotto la lastra di calcestruzzo.

Le finestre che erano in un primo momento a vetro singolo, sono a doppi vetri. Il rapporto tra finestra e parete è di circa il 20%.

Il consumo di energia per il riscaldamento è di circa **95 kWh / (m² anno)**.

Durante questi ultimi due decenni, la riabilitazione di edifici esistenti ha introdotto il concetto di isolamento esterno.

Il consumo di energia principale è quello per il riscaldamento ed è circa 2 o 3 volte maggiore del calore necessario per l’ACS.

Attualmente il consumo medio in casa è di circa 20 MWh annui, mentre in una casa a bassa emissione di CO₂, con un buon isolamento termico, il consumo annuo può arrivare a soli 8 MWh e il solare termico può coprire quasi tutto il fabbisogno, diversamente da una casa più comune dove il consumo medio è di circa 20 MWh annui.

È in genere difficile scegliere tra l’isolamento interno ed esterno. Le normative termiche in vigore oggi ancora non raccomandano il modo migliore per isolare edifici. Le tecniche di isolamento delle costruzioni hanno vantaggi ed inconvenienti.

Confrontando i benchmark in presenza o assenza di isolamento si sottolinea l'importanza di reperire e considerare ai fini delle diagnosi energetiche i dati circa il periodo di costruzione degli edifici ed eventuali ristrutturazioni, soprattutto se in queste ristrutturazioni sono stati introdotti isolamenti termici.

2.1.5 Report scientifico nazionale sulle attività del progetto TABULA in Italia

È stata sviluppata una struttura comune per le tipologie edilizie sulla base di caratteri costruttivi e degli impianti termici tipici del parco edilizio residenziale e nazionale.

La tipologia edilizia viene classificata secondo le seguenti categorie:

- regione/zona climatica
- classe di epoca di costruzione
- classe di dimensione edilizia

Lo scenario di retrofit è stato inizialmente applicato ai sei edifici di riferimento selezionati, difatti considerati come rappresentativi di una idonea porzione dell'assortimento di edifici. Come conseguenza, sono stati valutate le potenzialità (V. Corrado, I. Ballarini, S. P. Corgnati, 2012).

REFERENCE BUILDING TYPE	$A_{f,n}$ [m ²]	ORIGINAL STATE-Reference building-type (RBT)					
		$Q_{H,nd,RBT}$ [kWh/m ²]	$Q_{w,nd,RBT}$ [kWh/m ²]	$Q_{H,p,RBT}$ [kWh/m ²]	$Q_{w,p,RBT}$ [kWh/m ²]	$Q_{H,w,RBT}$ [kWh/m ²]	$t_{CO2,RBT}$
SFH.01	139	335	15,0	474	42,3	516	105
SFH.03	116	335	15,6	496	21,6	518	105
MFH.04	827	170	17,7	253	54,3	308	63
AB.05	2450	134	18,2	224	52,6	277	56
AB.06	3506	67,6	17,4	97,5	22,7	120	24
AB.07	2879	62,9	17,1	79,0	23,2	102	21

Tabella 2.1 - Risultati del calcolo per diverse quantità del bilancio energetico riferito alle sei tipologie di edifici di riferimento.

2.1.6 Attestato di Certificazione energetica

Per il calcolo dei benchmark si fa anche riferimento agli Attestati di Certificazione Energetica (ACE), che sono stati introdotti nel recepimento della Direttiva Europea 2002/91/CE (Directive on the energy performance of buildings). L'Attestato di Certificazione Energetica deve essere messo a disposizione in fase di costruzione, compravendita o locazione. In esso devono essere riportati "dati di riferimento che consentano ai consumatori di valutare e raffrontare il rendimento energetico dell'edificio e raccomandazioni per il miglioramento del rendimento energetico in termini di costi-benefici".

La disciplina complessiva in tema di rendimento energetico è contenuta nel D.Lgs.19 Agosto 2005, n.192 (attuativo della direttiva 2002/91/CE) e successive modificazioni e integrazioni.

L'attestato di prestazione energetica attesta la prestazione, l'efficienza o il rendimento energetico di un edificio e altresì contiene le raccomandazioni per il miglioramento delle prestazioni del medesimo.

La classe energetica assegnata all'edificio è determinata confrontando il valore del fabbisogno di energia primaria $E_{Pi} + E_{Pacs} = E_{Ptot}$ con i parametri numerici associati ad ogni classe, definiti secondo quanto indicato nelle seguenti tabelle.

A+	$E_{Ptot} \inf 25$
A	$E_{Ptot} \inf 40$
B	$40 < E_{Ptot} < 60$
C	$60 < E_{Ptot} < 90$
D	$90 < E_{Ptot} < 130$
E	$130 < E_{Ptot} < 170$
F	$170 < E_{Ptot} < 210$
G	$E_{Ptot} > 210$

Tab. 2.2 - Classi di prestazione energetica: edifici di classe E.1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme $\text{kWh/m}^2\text{anno}$)

A	$E_{Ptot} \inf 8$
B	$8 < E_{Ptot} < 16$
C	$16 < E_{Ptot} < 30$
D	$30 < E_{Ptot} < 44$
E	$44 < E_{Ptot} < 60$
F	$60 < E_{Ptot} < 80$
G	$E_{Ptot} > 80$

Tab. 2.3 - Classi di prestazione energetica: altri edifici ($\text{kWh/m}^3\text{anno}$)

2.1.7 CLASSI CasaClima

Le classi CasaClima permettono di identificare il grado di consumo energetico di un edificio. Le classi vanno da quella più performante alla classe G degli edifici esistenti.

La valutazione dell'efficienza complessiva prende in considerazione anche l'efficienza dei sistemi di produzione, distribuzione, accumulo ed emissione del calore al fine di coprire il fabbisogno energetico. Questo si esprime positivamente nell'utilizzo di vettori energetici, ma negativamente se utilizzati vettori energetici fossili.

Le classi CasaClima permettono di identificare il grado di consumo energetico di un edificio:

- CasaClima Oro: fabbisogno energetico < 10 kWh/m²anno / casa da 1 litro di gasolio
- CasaClima A: fabbisogno energetico < 30 kWh/m²anno / casa da 3 litri di gasolio
- CasaClima B: fabbisogno energetico < 50 kWh/m²anno / casa da 5 litri di gasolio
- Edifici esistenti inoltre si classificano nelle categorie D-G

2.1.8 Gradi giorno

I gradi giorno (GG) rappresentano il fabbisogno energetico necessario a riscaldare un edificio per una stagione, i valori sono specifici per ogni Comune e prescindono dalla posizione geografica o appartenenza regionale, ma dipendono unicamente dalle caratteristiche climatiche della zona in cui è ubicato.

I gradi giorno di una località sono la sommatoria estesa a tutto il periodo di riscaldamento delle sole differenze differenza positive giornaliere tra la temperatura di riferimento interna e la temperatura giornaliera esterna.

$$GG = \sum_t (T_{rif} - T_e)$$

Con i gradi giorno si esprime il fabbisogno termico di una determinata area geografica.

Il fabbisogno termico di un edificio durante la stagione invernale può essere definito mediante il seguente bilancio di energia:

$$Q = Q_t + Q_u - \eta * (Q_s + Q_i)$$

$$Q_t = U * S * (T_i - T_e) * t = U * S * GG$$

2.1.6 Case a bassa emissione e SAH (Solar Active House)

La riduzione dei consumi attraverso l'isolamento termico è prioritaria anche per aumentare la capacità dei sistemi solari di coprire l'intero fabbisogno energetico.

In Germania questa tipologia di abitazione è già stata costruita da tempo e riesce ad avere una copertura del fabbisogno annuo da energia solare che va dal 50% fino al 100%.

In un fabbricato a basso consumo in Germania, è stato raggiunto l'obiettivo di casa autonoma con un impianto solare termico e uno fotovoltaico ben dimensionati, con un serbatoio ben coibentato all'interno, riesce a far fronte al fabbisogno di riscaldamento. Inoltre la casa è dotata di un sistema di ricambio dell'aria con recupero di calore.

In una casa alla quale viene applicato un cappotto termico i consumi per il riscaldamento vengono ridotti della metà, le voci di consumo sono quasi equiparate: riscaldamento: 36%, ACS: 36%, energia elettrica: 28%; in questo modo i problemi di surriscaldamento del sistema solare termico sono enormemente ridotti e può essere raggiunta così una copertura del fabbisogno che va dal 50 fino al 100%.

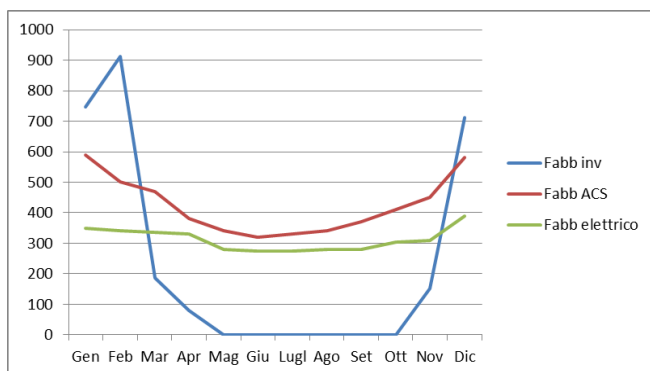


Fig. 2.4 - Profili mensili dei fabbisogni energetici per una casa con isolamento a cappotto sita in Genova con i GG misurati

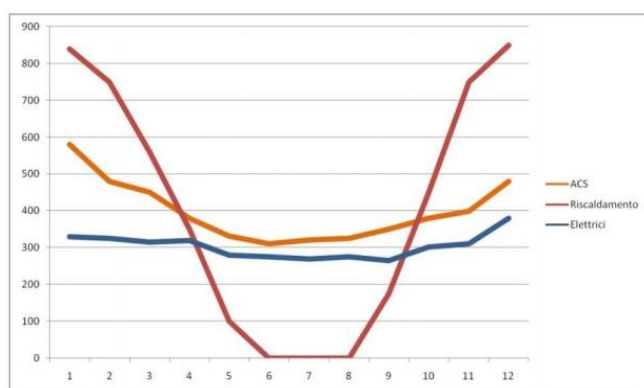


Fig. 2.5 - Profili mensili dei fabbisogni energetici per una casa con isolamento termico a cappotto in Italia (Roberto Salustri 2014)

Il grafico di Fig. 2.5 riporta uno studio sul fabbisogno svolto da R. Salustri, mentre il grafico di Fig. 2.4 è stato ricavato tenendo conto dello studio di Salustri, calcolando la temperatura media mensile ed i relativi gradi giorno effettivi calcolati secondo la definizione dei gradi giorno della normativa UNI EN ISO 15927-6:2008.

È stata calcolata giorno per giorno la temperatura media verificando se la temperatura media giornaliera è $< 12^{\circ}\text{C}$ oppure no, quindi si è stabilito il fabbisogno di riscaldamento rispetto ai 20°C da mantenere all'interno dei locali in base alla differenza giornaliera media ($20 - \text{Test} < 12$).

Solar Active Houses (SAH)

Al giorno d'oggi nell'Europa del Nord ed in quella centrale il riscaldamento degli spazi abitativi è responsabile per più dell'80% della richiesta di riscaldamento negli edifici residenziali, meno del 20% è richiesto per il riscaldamento dell'ACS. La domanda di riscaldamento degli spazi abitativi diminuirà grazie a miglioramenti nell'isolamento ed ad una migliore ermeticità di facciata in seguito alla ristrutturazione, ma anche nei nuovi edifici.

Bisogna però considerare che, se la richiesta di riscaldamento degli spazi scendesse del 75% rimarrebbe comunque della stessa dimensione della richiesta per il riscaldamento dell'ACS. Dato che le risorse di biomassa sono limitate e la disponibilità di elettricità da fonti rinnovabili (che potrebbero essere usate per alimentare le pompe di calore) è limitata durante la stagione del riscaldamento, il solare termico ha una grossa opportunità di contribuire in maniera significativa al riscaldamento degli spazi nel futuro sistema energetico, come fonte di riscaldamento sostenibile.

Un contributo rilevante dell'energia solare al riscaldamento degli spazi richiede un incremento della frazione solare per edificio, che è la frazione di energia solare sul totale della richiesta di riscaldamento degli spazi e dell'ACS.

Odiernamente in centro Europa, i combi systems per ACS e riscaldamento degli spazi hanno una dimensione del collettore tipicamente fra 10 e 15 m², i quali possono fornire una frazione solare di circa il 25% a seconda delle dimensioni e dell'efficienza dell'edificio e delle condizioni climatiche del sito.

Dato che nel Nord e nel centro Europa il livello di radiazioni solari è molto più basso in inverno rispetto all'estate una frazione solare vicina al 100 % necessita lo spostamento di una quantità significativa di energia solare generata durante l'estate alla stagione del riscaldamento e l'installazione di accumuli d'acqua per lo stoccaggio stagionale molto grandi.

Nonostante ciò, la casa Solare Attiva con il 60% di frazione solare è stata sviluppata, basandosi su migliori standard di isolamento ed un migliore sistema di riscaldamento solare, un buon compromesso fra frazione solare e volume di stoccaggio accettabile.

Nel centro Europa una casa solare attiva di una tipica famiglia singola necessita di un area per il collettore fra i 30 ed i 40 m² ed una accumulazione di soli 5 o 10 m³. Più di 1300 case attive solari sono state già costruite.

Basandoci su questa esperienza, l'iter di sviluppo delle SAH [4] si sta focalizzando sia sulla riduzione dei costi che sulla ottimizzazione e standardizzazione della tecnologia per le case solari attive con il 60% di frazione solare, con l'obiettivo di sviluppare case attive solari come soluzioni competitive per edifici ad energia zero, che sono richiesti dall'unione europea per il 2020.

Gli obiettivi dell'iter di sviluppo SAH sono:

- Riduzione del costo del riscaldamento solare con frazione solare di più del 60% allo stesso livello del riscaldamento solare degli odierni combi systems con frazione solare del 25% e
- Sviluppo del concetto SAH, il design e i metodi di costruzione ad uno standard, che può essere usato dall'intero settore edile come edifici concept ad energia quasi zero.

2.2 Altre tipologie di edifici

In questa seconda parte del capitolo vengono analizzate alcune tipologie di edifici non residenziali ma di interesse collettivo quali alberghi, istituti scolastici, impianti sportivi che sono di notevole importanza per studi sull'efficientamento energetico. Inoltre, in considerazione delle recenti iniziative in atto per il recupero delle fortificazioni storiche, sono

state anche compresi queste tipologie di edifici anch'essi importanti in un'ottica di efficientamento energetico nel contesto del loro recupero e utilizzo.

2.2.1 Edifici alberghieri

La grandezza media di un albergo varia notevolmente in funzione della categoria:

- Gli alberghi 1-2 stelle sono in media molto piccoli, con 10-15 stanze, mentre gli alberghi a 5 stelle sono molto grandi, con una taglia media pari a 90 stanze. La media per gli alberghi a 3-4 stelle è rispettivamente di 30 e 65 stanze.
- Negli alberghi di grandi dimensioni si cerca sempre di integrare diverse funzioni, come affari e attività ricreative e di svago.
- Le stanze da letto matrimoniali o singole, tutte con bagno proprio, hanno una dimensione che va da un minimo di mq 14 per le doppie e 9 mq per le singole, a salire.
- Gli alberghi confortevoli in generale dispongono di reception, aree comuni, sale conferenza, sale ristorante, area fitness, piscina, locali di servizio (cucina, lavanderia, uffici).
- Per gli alberghi a quattro stelle la superficie media per stanza è di circa 20 m², con un numero medio di 1,8 letti per stanza.
- La superficie della sala conferenze, non direttamente collegabile alle dimensioni dell'albergo, va da 1 a 7 m² per stanza, mentre la superficie del ristorante è di circa 3 m² per stanza.

Stima del fabbisogno energetico negli edifici alberghieri

In uno studio condotto dall'ENEA [6] sono state effettuate misurazioni quantitative e la caratterizzazione qualitativa di tali fabbricati, in funzione soprattutto delle informazioni necessarie a stimare il fabbisogno energetico e i tipi e le modalità di interventi manutentivi necessari all'efficientamento energetico.

Il modello di rilevazione è stato realizzato considerando i seguenti elementi:

- caratteristiche costruttive del fabbricato
- epoca di costruzione e stato manutentivo
- dimensioni del fabbricato (numero piani, superficie dei piani e delle stanze, ecc.)
- caratteristiche delle superfici vetrate e sistemi eventuali di ombreggiamento
- dotazione e caratteristiche degli impianti di climatizzazione.

Poco più di un edificio su cinque è stato realizzato in epoca anteriore al 1919, gli ultimi vent'anni registrano una diminuzione delle realizzazioni rispetto ai periodi precedenti.

Sono stati presi in considerazione alcuni studi realizzati su una serie di alberghi campione.

Secondo lo studio svolto dall'ENEA, la domanda specifica di energia per riscaldamento varia tra 2.5 MWh per stanza (nel Centro) a 3.5 MWh per stanza (nel Nord). La domanda specifica di energia per la preparazione dell'acqua calda sanitaria varia da 3.8 a 4.4 MWh per stanza.

Il consumo di energia elettrica varia da 5 a 11 MWh per stanza. La domanda di energia per raffrescamento varia tra 1 e 2.5 MWh per stanza nel Nord e tra 1 e 3.5 MWh per stanza nel Centro. Rispettivamente, tali consumi specifici equivalgono a 30 - 60 kWh/m² e 30 - 80 kWh/m².

2.2.2 Edifici a destinazione terziario direzionale

Il terziario direzionale è caratterizzato dalla seguente macro classificazione:

- uffici professionali cat. Catastale A10, inseriti ai piani più bassi degli edifici residenziali plurifamiliari
- quelli a più diretto contatto con il pubblico (agenzie viaggi, assicurazioni, banche, negozi di prima necessità ecc.) posti al piano terra degli edifici plurifamiliari con cat. Catastale C1;
- uffici pubblici o privati cat. Catastale B4, sedi di ministeri, amministrazioni statali e locali, direzioni di industrie, finanziarie e assicurazioni.

Questi ultimi sono posti in edifici distinti, ma equiparabili tipologicamente agli edifici in linea e a torre, nelle varie articolazioni usate anche per la residenza. Sono però caratterizzati da una maggior profondità degli ambienti, anche con postazioni di lavoro senza vista verso l'esterno, sistemi impiantistici più complessi (ricambio aria o condizionamento, antincendio, illuminazione artificiale, ecc.) con altezze interpiano maggiori per permettere il passaggio, postazioni di lavoro open space o suddivise in ambienti singoli, doppi o quadrupli, centralizzazione dei servizi con wc suddivisi in uomo, donna e handicappati.

Da un punto di vista distributivo verticale, a piano terra sono presenti gli spazi d'accoglienza per il pubblico, mentre ai piani superiori, normalmente in ordine gerarchico sono posti gli uffici degli impiegati ai piani più bassi, per poi salire verso l'alto con la dirigenza all'ultimo piano, spesso in diretto e facile contatto con l'eliporto posto in copertura.

Ai piani interrati sono posti gli archivi e i parcheggi pertinenziali.

Sempre a piano terra, con accesso all'esterno, sono spesso presenti funzioni commerciali come la ristorazione, la banca, l'agenzia di viaggi e la palestra.

Ulteriore elemento che può caratterizzare questa tipologia di edifici è l'asilo aziendale posto all'interno, per bimbi del dipendenti.

2.2.3 Istituti Scolastici

Le scuole vengono classificate in base all'obbligatorietà in:

- ciclo prescolare (asilo nido e scuola materna)
- scuola dell'obbligo (scuola elementare e scuola media)

L'attività prescolare si svolge in due ambiti distinti: l'asilo nido sino al compimento del terzo anno di vita e la scuola materna dai tre ai sei anni.

Deve essere organizzata su di un unico livello, in diretto contatto con gli spazi aperti.

Le due entità dovrebbero convivere nel medesimo edificio.

Il numero degli alunni è compreso tra 15 e 270.

Per la scuola materna, gli spazi principali comprendono:

- spazi per attività ordinarie
- spazi per attività libere
- spazi per attività pratiche (spogliatoi, servizi, depositi)
- spazi per la mensa (cucina e mensa)
- assistenza (ambienti e servizi per assistente ed insegnanti, lavanderia).

Per quanto riguarda il benchmarking dei consumi energetici degli istituti scolastici, sono riportati di seguito i valori medi, minimi, massimi etc. di consumo energetico al fine di definire al termine dell'analisi ragionevoli valori di riferimento.

Per quanto riguarda il consumo di energia elettrica, il consumo specifico riferito all'unità di volume, che risultata la variabile maggiormente in grado di caratterizzare il consumo di energia elettrica, è pari in media a 5 kWh/m^3 in entrambi gli anni di analisi.

Escludendo quindi l'effetto delle variazioni climatiche fra una stagione e l'altra, il consumo medio di energia termica utile per unità di volume è pari a 27 kWh/m^3 per gli edifici scolastici esaminati e riportati ai GG convenzionali di Torino.

Stagione di riscaldamento

Il valore di riferimento di consumo di energia per la climatizzazione invernale da combustibile espresso in kWh per unità di volume è quindi mediamente pari a 33 kWh/m^3 .

E' di grande utilità l'individuazione di valori di benchmark per il consumo energetico in edifici scolastici riferito al patrimonio edilizio a destinazione scolastica nel territorio italiano.

	Bench. [kWh/m^2]	RoT [kWh/m^2]
EDIFICI SCOLASTICI SUPERIORI		
Energia utile per la climatizzazione invernale	114	174
Energia elettrica	15	30

Non è stato simulato e analizzato invece il fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria, poiché è indipendente dalla collocazione dell'edificio e dalle sue caratteristiche termofisiche, ma è legato alla sua destinazione d'uso e alle sue dimensioni geometriche, coerentemente con quanto previsto dalla normativa vigente.

2.2.4 Centri sportivi

Il centro sportivo rientra nelle attrezzature collettive, come i cinema e i teatri.

Le aree per il tempo libero con le relative attrezzature sono spazi in cui si trovano concentrate una variabile quantità di attività di diversa natura.

Ci sono anche spazi in cui prevalgono le attrezzature sportive. Hanno dimensioni molto variabili e sono diffusi ovunque.

A seconda dei bacini d'utenza e delle modalità di gestione si costituiscono spazi di natura diversa. Gli impianti sportivi sono composti da campi da gioco, piscine, piste; spesso sono riuniti in complessi unici polisportivi circondati dal verde.

In appendice viene riportato uno studio dettagliato effettuato dall'ENEA [7] rispetto a diverse tipologie di Centri Sportivi e relativi fabbisogni energetici, i cui dati sono stati considerati per il caso di studio del Centro Sportivo del PalaCus di Genova nel Cap. 6.

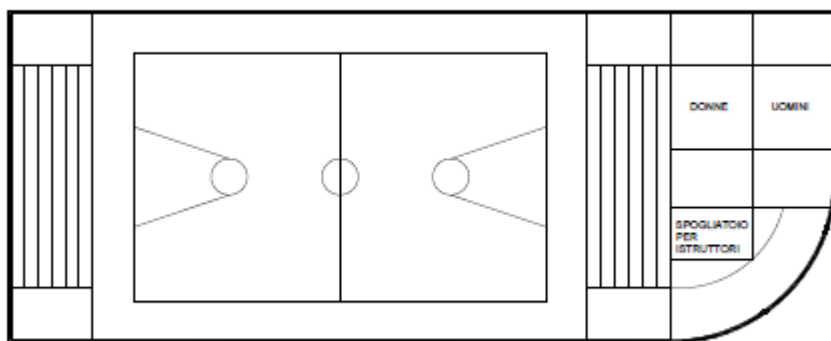


Fig. 2.6 - Esempio planimetria di un Centro Sportivo polifunzionale

Coperture

I centri sportivi in genere presentano strutture con coperture leggere e grandi luci, che sono l'elemento di realizzazione più complesso dal punto di vista strutturale. La complessità di realizzazione necessita di appropriate tecniche e idonei materiali da costruzione e richiede che siano considerati già in fase di progettazione diversi elementi, quali:

- la forma planimetrica,
- l'emergenza dell'organismo dal piano di campagna,
- la struttura della copertura

Per il dimensionamento di questi elementi in genere si deve tenere conto del tipo e numero di attività sportive, praticate all'interno dell'impianto sportivo, della capienza, del volume racchiuso.

La copertura a conformazione piana si può ottenere utilizzando travi a parete piena e reticolari, tensostrutture e coperture strallate, mentre la realizzazione di coperture a falde inclinate necessita traslare le capriate e i portali.

Le luci sono molto variabili, per travi in calcestruzzo armato oscillano tra i 5 e i 15 m, mentre vanno dai 15 ai 40 m per le travi in calcestruzzo armato precompresso. Le luci per le capriate invece partono da 5 m per le piccole capriate palladiane, fino ad arrivare ad oltre 40m per quelle di tipo Polonceau.

Coperture con forme più sofisticate si possono ottenere mediante coperture reticolari spaziali, falde inclinate ed elementi poliedrici.

Oltre ai materiali utilizzati per le coperture a conformazione piana e piano-spaziale, per le conformazioni spaziali vengono utilizzati anche i tessuti.

Queste strutture vengono utilizzate anche per luci inferiori ai 20 m fino a luci di 100 m.

Per le volte sottili in cemento armato (ordinario e precompresso) le luci partono da 40 m e arrivano ad un massimo di 130 m per le tensostrutture in acciaio e legno.

Fabbisogno energetico

La valutazione dei consumi legati ai grandi centri sportivi risulta ad oggi poco approfondita. Per tale motivo, l'ENEA ha svolto una ricerca [7] rivolta all'analisi dei consumi in un centro sportivo di grandi dimensioni.

Nello studio è stato scelto il Centro polifunzionale Giulio Onesti del CONI sito in Roma in quanto centro di eccellenza per dimensioni e per la buona gestione energetica.

Dimensioni dell'impianto sportivo Giulio Onesti:

- Estensione complessiva = 220.000 m²
- Superficie coperta = 25.000 m² (11,4 % del totale)
- Volume edificato = 122.000 m³

Nell'anno 2011 sono stati consumati dall'intero centro sportivo circa 4.850.000 kWh di energia elettrica.

2.2.4.1 Analisi di consumo delle palestre alte

La valutazione dei consumi delle palestre di notevole altezza è complessa e include un forte dispendio di energia a causa dei grandi volumi contenuti; i principali motivi per cui aumentano i consumi sono legati alla necessità di maggiore illuminazione e di scaldare un grande volume distribuito su una notevole altezza (circa 8-12 m). Le necessità energetiche sono legate ai seguenti assorbimenti:

- illuminazione di campi sportivi interni
- raffrescamento
- riscaldamento
- ventilazione

Si riportano a titolo di esempio le tabelle dei consumi di alcuni Centri Sportivi oggetto dello studio Enea.

Illuminazione di campi sportivi interni

L'illuminazione dei campi sportivi o delle palestre in interno è generalmente realizzata mediante proiettori alogeni, al sodio ad alta pressione, ai vapori di mercurio oppure ad alogenuri metallici. Raramente viene realizzata mediante tubi fluorescenti, cosa che, invece, è frequente nelle palestre di altezza limitata (circa 4-5 m).

2. BENCHMARK CONSUMI ENERGETICI PER DIVERSE TIPOLOGIE DI EDIFICI

Le palestre di tipo alto prese in analisi, per il sistema di illuminazione, sono due: la prima è il Volley e la seconda è la palestra di Ginnastica del Centro di Preparazione Olimpica. La prima è alta ben 15 metri e la seconda ben 8.

La palestra della pallavolo presenta installate 24 proiettori con lampade a scarica da 400W ciascuno, installati a soffitto (h 15m).

La palestra di Ginnastica presenta ben 60 proiettori con lampade a scarica, da 400W ciascuno, installati a soffitto (h 8m). La misura effettuata sul quadro elettrico ha confermato un assorbimento di circa 25 kW di picco.

Entrambe le palestre vengono utilizzate per circa 300 giorni anno e l'illuminazione viene attivata anche di giorno per 10 ore circa di utilizzo complessivo. Pertanto, viene valutato il peso dell'accensione del sistema su 3000 ore per anno.

ILLUMINAZIONE PALESTRE ALTE - POTENZA ED ENERGIA									
Palestra	tipo lampada	quantità	potenza lampada [W]	potenza TOT [kW]	potenza installata per superficie [W/m ²]	Kc	Ku	ore utilizzo anno [h]	energia [kWh]
Volley	proiettore fluorescente scarica	24	400	9,6	15	1	1	3.000	28.800
CPO Ginnastica	proiettore fluorescente scarica	60	400	24	40	1	1	3.000	72.000

Tab. 2.4 - Potenza ed energia impegnate per l'illuminazione delle palestre di tipo alto in un anno

INDICATORE ANNUALE DI CONSUMO PER ILLUMINAZIONE PALESTRE ALTE					
Palestra	energia [kWh]	superficie [mq]	volume [mc]	indicatore ET/superficie [kWh/mq]	indicatore ET/volume [kWh/mc]
Volley	28.800	660	10.000	44	2,9
CPO Ginnastica	72.000	600	4.300	120	17
TOT	100.800	1.260	14.300	80	7

Tab.2.5 - Indicatori di consumo annuale per l'illuminazione delle palestre di tipo alto

Raffrescamento

Anzitutto va fatta una premessa in termini di volumi relativi al conta calorie utilizzato in questo paragrafo. La tubazione caldo/freddo che alimenta l'edificio della pallavolo è la stessa che alimenta quello del taekwondo; pertanto il conteggio del calore è relativo alla somma dei due diversi edifici.

INDICATORE ANNUALE DI CONSUMO PER RAFFRESCAMENTO PALESTRE ALTE (*)					
Palestra	energia [kWh]	superficie [mq]	volume [mc]	indicatore ET/superficie [kWh/mq]	indicatore ET/volume [kWh/mc]
Volley	107.791	660	10.000	163,3	10,8
CPO Ginnastica	101.102	600	4.300	168,5	23,5
TOT	208.893	1.260	14.300	165,8	14,6
(*) Nota: energia assorbita al netto del rendimento del CDZ (EER dichiarato 2.77)					

Tab.2.6 - Indicatori di consumo per il raffrescamento delle palestre alte (al netto del rendimento di trasformazione, EER medio pari a 2.77)

Riscaldamento

Anche nel caso del riscaldamento va riconfermato quanto appena detto nel paragrafo relativo al raffrescamento: i volumi del gruppo alimentato dallo stesso contabilizzatore sono ripartiti come il 72% al campo di pallavolo ed il rimanente al resto (taekwondo incluso).

INDICATORE ANNUALE DI CONSUMO PER VENTILAZIONE PALESTRE ALTE					
Palestra	energia [kWh]	superficie [mq]	volume [mc]	indicatore ET/superficie [kWh/mq]	indicatore ET/volume [kWh/mc]
Volley	40.800	660	10.000	61,8	4,1
CPO Ginnastica	36.000	600	4.300	60,0	8,4
TOT	76.800	1.260	14.300	60,9	5,4

Tab. 2.7 - Indicatore di consumo per la ventilazione delle palestre di tipo alto

2.2.4.2 Analisi di consumo delle palestre basse

La valutazione dei consumi delle palestre di modesta altezza, entro i 5m, non sono gravate da un forte dispendio di energia per illuminazione e riscaldamento; queste vengono trattate quasi come dei normali ambienti interni. Le necessità energetiche sono comunque legate a tutti i seguenti assorbimenti:

- illuminazione di interni
- raffrescamento
- riscaldamento
- ventilazione

Si riportano a titolo di esempio le tabelle dei consumi dello studio Enea per il Centro Sportivo polifunzionale Giulio Onesti di Roma, dove sono presenti tre palestre basse: ginnastica generale, scherma e lotta. Queste sono incluse nell'edificio denominato Centro di Preparazione Olimpica (CPO).

Illuminazione di interni

L'illuminazione delle palestre di tipo basso, che in genere non superano i 5 metri di altezza, è generalmente realizzata mediante tubi o lampade compatte fluorescenti.

INDICATORE DI CONSUMO ANNUALE PER ILLUMINAZIONE DI PALESTRE BASSE					
Palestra	energia [kWh]	superficie [mq]	volume [mc]	indicatore Energia ET/superficie. [kWh/mq]	indicatore Energia ET/volume [kWh/mc]
Scherma Roma	15.360	160	640	96	24,0
Scherma principale	28.800	300	1800	96	16,0
Scherma piccola	8.448	128	380	66	22,2
TOT	52.608	588	2820	89,5	18,7

Tab. 2.8 - Indicatori di consumo annuale per l'illuminazione delle palestre di tipo basso

Raffrescamento

Per il tipo palestra bassa sono state analizzate le palestre Lotta e Pesi all'interno del CPO. Il Centro di Preparazione Olimpica include anche degli spazi comuni che non sono raffrescati e la palestra di tipo alto denominata Ginnastica.

INDICATORE ANNUALE DI CONSUMO PER RAFFRESCAMENTO PALESTRE BASSE (*)				
energia [kWh]	superficie [mq]	volume [mc]	indicatore E/superficie [kWh/mq]	indicatore E/volume [kWh/mc]
237.095	1.231	6.155	192,6	38,5
(*) Nota: energia assorbita al netto del rendimento del CDZ (EER dichiarato 2.77)				

Tab. 2.9 - Indicatore di consumo per raffrescamento delle palestre Pesi e Lotta nel 2012

Riscaldamento

Al momento, nel centro Onesti, sono presenti tre palestre basse: ginnastica generale, scherma e lotta. Queste sono incluse nell'edificio denominato Centro di Preparazione Olimpica (CPO) che viene qui analizzato.

INDICATORE RISCALDAMENTO CPO (PALESTRE BASSE)				
energia assorbita per ciclo invernale o per anno [kWh]	superficie sole palestre basse [mq]	volume sole palestre basse [mc]	Indicatore E./superficie . [kWh/mq]	Indicatore E/volume [kWh/mc]
878.783	1.831	10.987	480	80
(*) Nota: energia assorbita al netto delle perdite di caldaia (rendimento dichiarato 0.84)				

Tab. 2.10 - Indicatore di consumo per riscaldamento delle palestre basse

Ventilazione

La ventilazione della palestre di tipo basso, come per le altre, è di notevole importanza e, come già rilevato, non deve essere trascurata; si impiega un grosso quantitativo di energia sia per la durata/continuità della ventilazione sia per la potenza in gioco.

INDICATORE DI CONSUMO ANNUALE PER VENTILAZIONE DI PALESTRE BASSE					
Palestra	energia [kWh]	superficie [m ²]	volume [m ³]	indicatore Energia ET/superficie [kWh/m ²]	indicatore Energia ET/volume [kWh/m ³]
Scherma Roma	9.600	160	640	60	15,0
Scherma principale	36.000	300	1.800	120	20,0
Scherma piccola	9.600	128	380	75	25,3
TOT	55.200	588	2.820	93,9	19,6

Tab. 2.11 - Indicatori di consumo annuali per la ventilazione delle palestre della scherma

2.2.5 Edifici storici

In questa ricerca viene inoltre svolto uno studio per quanto riguarda la riqualificazione energetica degli edifici del patrimonio culturale, aventi interesse storico, architettonico, artistico e paesaggistico.

Secondo quanto riportato nelle “Linee di indirizzo per il miglioramento dell’efficienza energetica nel patrimonio culturale”, con il termine beni architettonici, si possono definire tutti quei manufatti immobili assoggettati a tutela ai sensi della normativa vigente sui beni culturali.

Gli edifici storici generalmente costruiti in muratura, impiegando diverse tecniche costruttive, con varie forme e dimensioni, particolari tessiture e giunti di allettamento.

Si possono infatti trovare murature in materiali lapidei piuttosto regolari, irregolari con blocchi sfaldati e murature intonacate.

Inoltre vi sono alcuni edifici di una certa importanza realizzate solitamente con tecniche costruttive più accurate, ad esempio chiese pievane, castelli, insediamenti signorili, torri, ecc.

Gli edifici nei centri storici presentano alcuni fattori critici. Hanno un fattore di ombra molto alto, essendo molto vicini l'uno all'altro. Inoltre, durante l'estate, essi sono soggetti ad effetto isola di calore nelle aree urbane.

2.2.6 Fortificazioni

Vengono inoltre analizzati i Forti, edifici storici militari, per le loro peculiari caratteristiche costruttive e funzionali.

Le fortificazioni sono caratterizzate dalla presenza di costanti temperature stagionali che garantiscono condizioni confortevoli soprattutto durante la stagione estiva.

Le pareti svolgono bene la loro funzione e fungono da confine contro il clima esterno. Infatti, l'elevata inerzia termica mitiga le alte temperature estive, ritardando così l'ingresso del flusso termico, derivante da una forte radiazione solare.

Mentre in inverno, esse isolano dall'aria fredda e mantengono il calore fornito, funzionando come deposito termico.

Le fortificazioni in Europa sono state progettate attraverso la scienza balistica, la matematica e la tecnologia, in quanto molte di loro sono state costruite dopo lo sviluppo di armi da fuoco e in particolare di cannoni nel 15 ° secolo, mettendo in scena la fine della cavalleria e pertanto esse richiedono tecniche di difesa più sofisticate.

Per ridurre l'impatto devastante della palla di cannone è stata utilizzata una forma obliqua per le pareti esterne, mentre per quanto riguarda la distanza, la posizione dei cannoni è stata progettata per coprire l'area circostante, che dovrebbe essere il più libera possibile.

Queste costruzioni sono costruite con un'ampia varietà di forza lavoro, disegnate a seconda delle armi (cannoni) e spesso richiamano una forma di stella.

Esempi significativi sono i lavori eseguiti durante il XIV e XV secolo da Francesco di Giorgio, Antonio da Sangallo, Filippo Brunelleschi, Michelangelo Buonarroti.

Altri esempi rilevanti sono la costruzione militare del XVIII secolo in Francia (il più importante Paese europeo all'epoca). Le fortificazioni sono state costruite ai confini e la loro forma geometrica presiede su tutti i siti della città.

Particolarmente importanti sono i modelli concettuali e l'esperienza delle fortificazioni del colonnello francese Le Prestre Sebastien de Vauban, che diventa segretario ufficiale di tutte le fortificazioni francesi. Tali esempi presentano elementi tipici della protezione dell'edificio, come i rivellini, corna, tenaglie, ecc.

Nel 2008 le fortificazioni pianificate dall'ingegnere Vauban, prevalentemente lungo il sito delle frontiere francesi, sono inserite nell'elenco del patrimonio dell'umanità dell'UNESCO.

La pianificazione delle nuove difese di Genova ad opera del Comandante Jacques De Sicre, dopo il 1747, riprendeva le tecniche utilizzate dall'ingegnere Vauban e predisponendo delle opere fortificate stabili su precise posizioni strategiche e previste tenendo presenti le diverse

componenti geofisiche (quote e distanze da tiro, percorsi e passi obbligati, punti di approvvigionamento, ecc.)

Le scuole d'oltralpe hanno concepito l'architettura militare non come qualcosa di cristallizzato, ma di ideare un sistema di difesa, pensato in funzione di una guerra che assumeva sempre più quel carattere di mobilità proprio di tutti gli eserciti moderni.

Con questo concetto di “**spazio aperto**”, furono realizzati a Genova i primi forti: il **Forte Diamante**, il **Forte Quezzi**, il **Forte S.ta Tecla** e più tardi il **Forte Richelieu** (L.C. Forti 1975).

Le fortificazioni hanno molte aree con ombra autoportante, a causa della geometria articolata del volume dell'edificio.

Il Fort Carré, ad Antibes, Francia, ad esempio, ha diverse tracce geometriche che consistono in cerchi, ottagoni e quadrati. Dal cerchio esterno della torre, un ottagono circoscritto determina i punti di inserimento dei bastioni, inscritti in un quadrato

Per la costruzione della fortezza sono stati utilizzati diversi tipi di calcare, in quanto le loro proprietà erano adatte a siti diversi. Un calcare morbido è stato utilizzato per i blocchi che costituiscono i piani, mentre il resto della costruzione è un amalgama di calcare accoppiato con una malta composta da acqua e sabbia.

Inoltre, i mattoni sono presenti, collocati principalmente in corrispondenza dei telai delle aperture, in alcuni piani e scale (Archives municipales d'Antibes, 1995).

Inoltre nel capitolo 7 viene presentato uno studio su Forte Begato, un significativo esempio di edificio militare ottocentesco, situato a Genova, dotato di bastioni angolari e di una corte centrale.

Materiali per i Forti

Per quanto riguarda i materiali, si riporta che diversi tipi di pietre calcaree sono state utilizzate per la costruzione dei Forti, poiché le loro proprietà erano adattate ai vari siti delle costruzioni.

Ad esempio nel caso di Fort Carré ad Antibes, i blocchi che compongono le lastre dei pavimenti sono tagliati in morbido calcare, che poteva essere striato per impedire che i soldati potessero scivolare. Invece Forte Begato è stato costruito con pietre calcaree di Finale.

Il resto delle costruzioni è un amalgama di pietra calcarea impastata attraverso un mortaio composto da acqua e sabbia di mare.

La muratura è composta anche da alcuni mattoni, in particolare al livello delle aperture, di alcuni marciapiedi e di alcune scalinate.

Come esempio della disposizione dei diversi materiali, si descrive la parete di coronamento sul cammino di ronda: tre mattoni sul bordo verticale sono alternati con tre mattoni sul bordo orizzontale per riempire i vecchi merli.

Bibliografia

- [1] R. G. Romano, Manuale per la progettazione estemporanea, DEI tipografia del genio civile (2007), Roma, Italia.
- [2] M.Ibrahim 2014 Improving the building envelopes energy performance using aerogel-based insulating mineral rendering, Sophia Antipolis, France.
- [3] V. Corrado, I. Ballarini, S. P. Corgnati (2012), National scientific report on the TABULA activities in Italy, Politecnico di Torino, Dipartimento Energia, Torino, Italy.
- [3] G. Stryi-Hipp, W. Weiss, D. Mugnier and P. Dias, RHC Renewable Heating and Cooling European Technology Platform Strategic Research Priorities for Solar Thermal Technology European Solar Thermal Technology Panel (ESTTP) of the European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling (RHC-Platform) (2012), Brussels, www.rhc-platform.org.
- [4] L. C. Forti, Le fortificazioni di Genova (1975), Stringa Editore, Genova, Italia.
- [5] Archives municipales d'Antibes, Grandeur et servitudes d'un place forte XVIeme-XIXeme siècles, Antibes, France, 1995, pp. 49-53.
- [6] R. Salustri Soluzioni per una casa a basso consumo energetico, Qual Energia.it Speciale Tecnico, Italia, 2014
- [7] M. Aprile 2009 Caratterizzazione energetica del settore alberghiero in Italia Report RSE/2009/162, ENEA Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Milano, Italia.
- [8] S. P. Corgnati, E. Fabrizio, F. Ariaudo, L. Rollino 2010 Edifici tipo, indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, ad uso scolastico (medie superiori e istituti tecnici) applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani Report RSE/2010, ENEA Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Milano, Italia.
- [9] S. Elia, E. Santini, Analisi di consumo, elettrico e termico, del centro sportivo Giulio Onesti del CONI di Roma, Ricerca di sistema elettrico, Report RdS/2012/111, ENEA Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (2012), Roma, Italia.

Appendice Cap.2 - Progettazione dei centri sportivi

Servizi pubblici-standard dimensionali delle aree per lo sport (m²/ab) minimi consigliabili per la pianificazione comunale

TIPO	Abitanti (soglia minima)	Standard minimo mq/ab	Accessibilità
Unità sportiva con campo pluriuso-palestra-tennis	2-3000	1,50	Pedonale
Unità sportiva come sopra comprendente piscina	5000	2,00	Pedonale
Unità sportiva come sopra comprendente palazzotto dello sport e campo di calcio	20-30000	2,50	Pedonale e veicolare
TOTALE		6,00	

Criteri di dimensionamento

Le dimensioni dell'area vengono stabilite in base al tipo di impianto da realizzare: campi di pallacanestro, pallavolo, campi di bocce non richiedono dimensioni abnormi se consideriamo che sono sufficienti 500/700 m² (per realizzare quindi uno spazio da destinare alla pallacanestro e uno alla pallavolo saranno necessarie misure del tipo 30*40 e un volume di 6000 m³, e questo tenendo anche conto del fatto che un'area sarà da destinare ai servizi di supporto e una agli impianti tecnici).

Nel caso in cui si voglia invece realizzare una sala da pallacanestro o pallavolo (questa volta al chiuso) si richiedono circa 3000 m²; trattasi infatti di area comprensiva di spazi da destinare al parcheggio di vetture, transito di mezzi di trasporto e attrezzature varie; in caso di spettatori vi sarà poi necessariamente un conseguenziale aumento dell'area dell'impianto in base al numero degli stessi e alla presenza di gradinate per i medesimi.

Spazi	Dimensioni	Attività praticabili
Circolari	Raggio minimo	Possono essere svolte attività ginniche singole o di gruppo; è adatto per mimo, danza, recite ed ascolto musica con presenza di pubblico
	Raggio 12	Oltre alle attività previste per lo spazio precedente viene utilizzato per la pratica del pattinaggio
Quadrati	14*14	Lotta; pugilato; pesistica; judo; tennis da tavolo
Rettangolari	15*24	Ginnastica; pallavolo; scherma
	18*30	Ginnastica; pallavolo; pallacanestro
	24*44	Ginnastica; pallavolo; pallacanestro; pallamano
Vasche d'acqua	12,5*25	Nuoto; nuoto sincronizzato

2. BENCHMARK CONSUMI ENERGETICI PER DIVERSE TIPOLOGIE DI EDIFICI

Dimensioni sala di attività	Attività sportive	Utenti contemporanei	Posti spettatori
16*26	Lotta, pesistica, judo, pallavolo, ginnastica, scherma	20/30	0
26*32	Lotta, pesistica, judo, pallavolo, ginnastica, pallacanestro, scherma	20/50	200/400
26*46	Lotta, pesistica, judo, pallavolo, ginnastica, pallacanestro, tennis, calcio a cinque, scherma	20/70	400/600

Area funzionale	Unità ambientali	Tipi di relazione
Attività sportiva	Sala attività	A
	Sala preatletismo	A
Servizi di supporto	Spogliatoio atleti	C
	Docce atleti	A B
	Servizi igienici	A B
	Spogliatoio istruttori	C
	Spogliatoio per il personale	C
	Sauna	A B
	Sala massaggi	A B
	Pronto soccorso	C
	Deposito attrezzi	
	Ripostiglio attrezzi di pulizia	A
	Ufficio amministrativo	C
Pubblico	Atrio pubblico Gradinate Servizi igienici Biglietteria	
Impianti tecnici	Locali impianti	
Servizi complementari	Servizi di ristoro	

Gli spazi destinati alla pratica dello sport individuano la “sezione attività sportiva”.

Altri ambienti funzionalmente legati tra loro costituiscono le altre sezioni:

- la sezione dei “servizi di supporto”:
 - atri atleti;
 - spogliatoi (atleti, istruttori, giudici);
 - pronto soccorso;
 - deposito attrezzi,
 - uffici amministrativi.
- la sezione “pubblico”;
- la sezione “impianti tecnologici”;
- la sezione dei “servizi ausiliari”.

Il D.M. 25/08/1989 stabilisce le dimensioni e la dotazione minima dei servizi igienici.

Gli spogliatoi di dimensioni min. 30 m² al netto dei servizi, con annesso un gruppo di servizi igienici.

Ogni locale spogliatoio deve servire al massimo 16 praticanti, deve avere almeno 150 lux di luminosità al pavimento, aerazione naturale pari ad 1/8 della superficie del locale o meccanica con ricambi di almeno 25 m³ per persona*h.

L'UNI ha costituita una Commissione “Impianti ed attrezzi sportivi e ricreativi” (compreso il CONI) che ha emanato le seguenti norme

- UNI 8617 “Urbanistica per lo sport”
- UNI 8617 “Aree all’aperto. Elenco delle attività sportive e ricreative praticabili nei diversi ambienti...”
- UNI 8618 “Attività sportiva”
- UNI 8619 “Sistema edilizio sportivo”
- UNI Sport 14 “Edilizia sportiva/Superfici sportive-Terminologia generale”
- UNI Sport 15 “Edilizia sportiva/Superfici sportive-Lista delle azioni agenti”

3 ANALISI IMPIANTI E INTEGRAZIONE EDIFICIO-IMPIANTO

Questo capitolo descrive alcune tipologie di impianti che sfruttano energie dalle fonti rinnovabili, approfondendo in particolar modo la loro integrazione con l'edificio, dalla generazione, alla distribuzione, all'emissione dell'energia. Vengono esposte le ragioni per le quali installare determinate tipologie di impianti in relazione a particolari contesti aventi delle specifiche caratteristiche di tipo architettonico-paesaggistico, e vengono definiti gli spazi necessari per l'installazione dei diversi tipi di impianti trattati e per il passaggio delle tubazioni della distribuzione.

Le tipologie di impianto analizzate sono state selezionate in un'ottica di risparmio energetico e di utilizzo di energie da fonti rinnovabili da applicare ai vari tipi di edificio in un'ottica nZEB.

Per quanto riguarda gli impianti termici, questi possono essere classificati come segue:

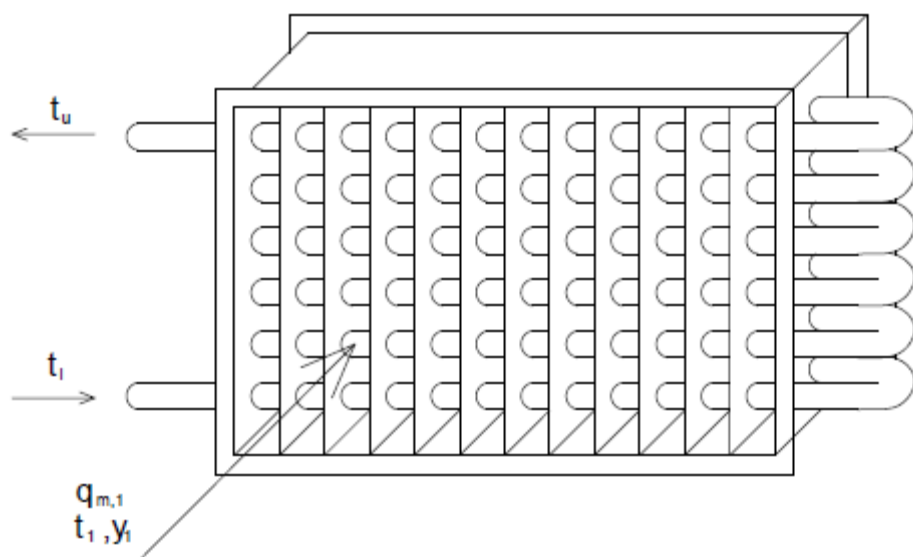
- A Funzionamento continuo, intermittente, discontinuo: a seconda che l'impianto funzioni ininterrottamente tutti i giorni del periodo invernale oppure sia prevista un'interruzione durante alcune ore prestabilite del giorno oppure funzioni in maniera irregolare (cioè con cicli di accensione e spegnimento programmati);
- Con centrale o autonomo: a seconda che esista un'unica caldaia che provveda al riscaldamento centralizzato di un intero edificio oppure ogni unità immobiliare sia dotata di una propria caldaia gestita in maniera autonoma;
- Diretto o indiretto a seconda che gli elementi riscaldanti siano inseriti nell'ambiente da riscaldare o siano esterni ad esso;
- A bassa, media o alta pressione: a seconda dell'entità della pressione durante la fase di espansione del ciclo termodinamico;
- Ad un tubo o a due tubi;
- A circolazione naturale o a circolazione forzata: a seconda che la circolazione dell'acqua nelle tubazioni dell'impianto avvenga per effetto della differenza di peso specifico dell'acqua stessa nelle tubazioni di mandata e di ritorno oppure avvenga a mezzo di una pompa;
- Ad acqua, a vapore o ad aria: in relazione al fluido termovettore in circolo nelle tubazioni.

In genere in inverno il clima è freddo e secco, mentre in estate è caldo e umido. Occorre pertanto riscaldare e umidificare d'inverno e raffreddare e deumidificare in estate.

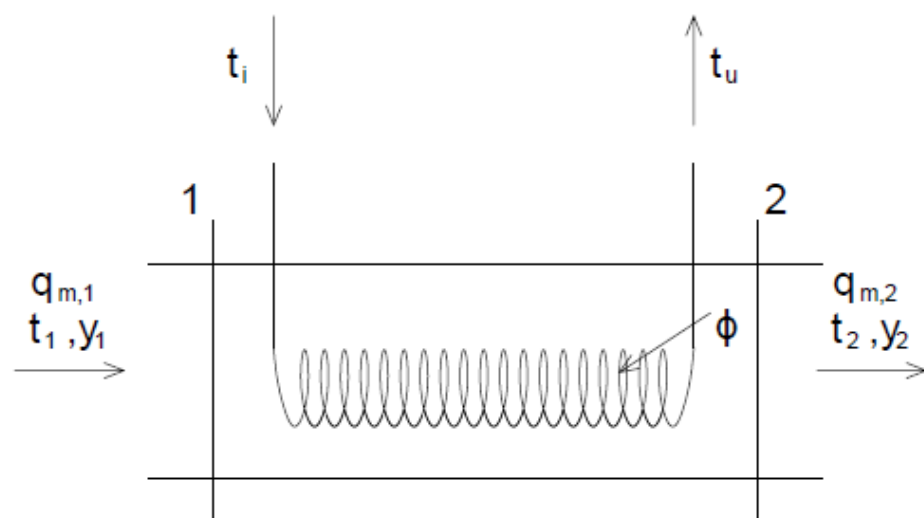
In **inverno** il **riscaldamento sensibile** trasforma l'aria umida con un aumento della temperatura senza variazione del grado igrometrico. Trasformazione che viene realizzata in uno scambiatore di calore, attraverso il quale una portata di aria umida scambia calore con un altro fluido a temperatura più alta.

Le batterie di scambio termico (scambiatori di calore utilizzati nel condizionamento ambientale) in genere sono costituiti da un fascio di tubi dove scorre il fluido acqua, fluido refrigerante, etc. che viene investito perpendicolarmente dall'aria.

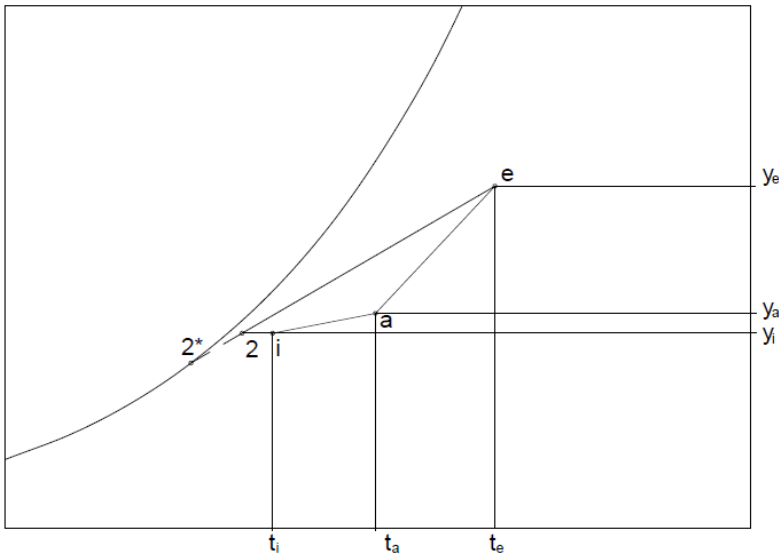
Il riscaldamento sensibile di una portata d'aria umida può anche essere ottenuto mediante una resistenza elettrica.



Scambiatore di calore o batteria di scambio termico utilizzato nel condizionamento ambientale [11]



Batteria di raffreddamento di una portata di aria umida $q_{m,1}$ in condizioni (t_1, y_1) fino ad una temperatura t_2 ($t_2 > t_1$) [11]

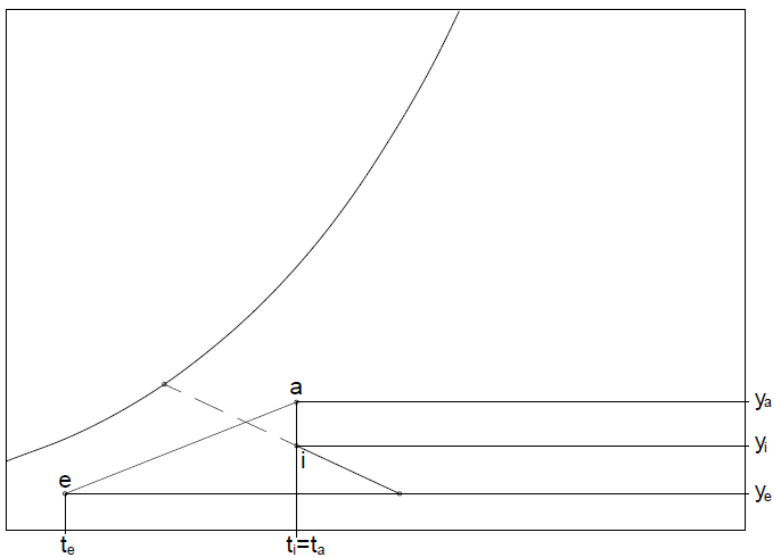


Esempio di condizionamento estivo su diagramma ASHRAE

Invece il **raffreddamento sensibile** estivo è una trasformazione dell'aria umida in cui si verifica una diminuzione della temperatura senza variazione del grado igrometrico. Tale trasformazione può essere realizzata mediante una batteria di raffreddamento.

Se la temperatura di ingresso t_i del fluido è maggiore della temperatura di rugiada dell'aria umida in ingresso $t_{R,1}$, durante la trasformazione non si ha condensazione di vapor d'acqua.

Se all'interno della batteria di scambio termico scorre un fluido in passaggio di fase risulta $t_u = t_i$.



Esempio di condizionamento invernale su diagramma ASHRAE

Impianto di riscaldamento

Nel periodo invernale un impianto di riscaldamento è in grado di controllare solo la temperatura dell'aria; appartengono a tale categoria gli impianti ad acqua calda (ad esempio radiatori, ventilconvettori, pannelli radianti) e quelli ad espansione diretta (ad es. split system funzionanti in modalità pompa di calore).

Impianto di raffrescamento

Nel periodo estivo un impianto di raffrescamento è in grado di controllare solo la temperatura dell'aria; appartengono a tale categoria gli impianti ad acqua refrigerata (ad esempio ventilconvettori, pannelli radianti) e quelli ad espansione diretta (ad es. split system funzionanti in modalità frigorifera).

In presenza di impianti di riscaldamento/raffrescamento, il rinnovo d'aria viene in genere ottenuto sfruttando la ventilazione naturale o per semplice aerazione (apertura delle finestre). Altrimenti può essere presente un impianto di ventilazione meccanica indipendente. Nel caso si utilizzino come terminali di emissione del calore in ambiente i pannelli radianti, è anche possibile un controllo parziale della temperatura media radiante.

Impianto di condizionamento

Un impianto di condizionamento è in grado di controllare la temperatura, l'umidità e la velocità dell'aria e di assicurare il ricambio d'aria e la filtrazione, sia nel periodo estivo che in quello invernale. Un impianto di condizionamento garantisce quindi tutte le funzioni connesse alla climatizzazione, compresa la ventilazione dell'ambiente: in tal caso si parla infatti di ventilazione mediante l'impianto di climatizzazione.

Appartengono a tale categoria le seguenti tipologie di impianto:

- Gli impianti di condizionamento a tutt'aria, nei quali la temperatura e l'umidità vengono controllate dal fluido termovettore aria: l'aria è immessa ed estratta meccanicamente dal locale e si realizza un trattamento centralizzato dell'intera portata d'aria immessa.
- Gli impianti di condizionamento misti, nei quali la temperatura è controllata dal fluido termovettore acqua o da altro fluido e l'umidità dal fluido termovettore aria. Quando è l'acqua a circolare nei terminali (ad es. nei ventilconvettori o nei pannelli radianti) si parla di impianti misti aria-acqua, mentre quando è un altro fluido, ad es. fluido refrigerante, vengono detti impianti misti ad espansione diretta. La portata d'aria per il controllo dell'umidità è immessa ed estratta meccanicamente dal locale e si realizza il trattamento centralizzato della sola portata d'aria esterna, detta aria primaria, per distinguerla dall'aria secondaria trattata direttamente in ambiente dai terminali ad acqua o altro fluido.

Nel seguito del capitolo vengono analizzate le caratteristiche degli impianti e le varie tipologie degli impianti. Al punto 7 vengono affrontati alcuni criteri riguardante l'integrazione edificio-impianto, 3.7 vengono trattate le metodologie per il monitoraggio degli impianti, mentre al punto 3.8 vengono affrontati alcuni aspetti dell'impatto ambientale degli impianti di climatizzazione.

L'umidificazione dell'aria negli impianti di climatizzazione viene ottenuta secondo due modalità:

- Umidificazione adiabatica (a spruzzo)
- Umidificazione isoterma (a vapore).

L'**umidificazione adiabatica** avviene attraverso un saturatore adiabatico, dove l'aria viene raffreddata e umidificata, raggiungendo le condizioni di saturazione.

L'efficienza dell'umidificatore adiabatico è definito come il rapporto tra la variazione di grado igrometrico effettiva e la variazione di grado igrometrico massima quando l'aria viene portata in condizioni di saturazione.

Invece l'umidificazione a vapore della portata d'aria umida si ottiene introducendo direttamente del vapor d'acqua saturo, normalmente alla temperatura di 100°C circa.

L'umidificazione a vapore comporta un riscaldamento della portata d'aria umida.

3.1 Generazione e distribuzione

Nella scelta della tipologia di impianto e nella progettazione e dimensionamento degli impianti di riscaldamento bisogna considerare gli aspetti climatici ed energetici, tenendo conto delle parti che compongono gli impianti stessi. Gli impianti si possono suddividere in tre parti principali:

- il generatore di calore
- il circuito di distribuzione
- i terminali di distribuzione

3.1.1 Generazione

Per quanto riguarda la generazione di calore, possono essere usate caldaie (ad esempio con alimentazione a metano, a GPL, pellet o biomasse), resistenze elettriche o pompe di calore. Per la generazione di frigorifici (ovvero la sottrazione di calore), invece, possono essere utilizzati gruppi frigoriferi, pompe di calore o pozzi geotermici.

Il consumo termico rappresenta la quantità di combustibile che viene utilizzato per produrre il flusso termico ed è anche un indice di energia primaria.

Al fine di una valutazione della tipologia di impianti da installare occorre considerare il bilancio energetico dell'edificio e dell'impianto singolarmente valutando la produzione di energia e i consumi.

Nello schema seguente viene rappresentato il processo di conversione e distribuzione di energia dalle fonti di energia primaria.

- L'energia primaria viene convertita in riscaldamento, in raffrescamento ed elettricità, e distribuita per l'uso finale.
- La conversione di energia implica l'utilizzo di ausiliari, i quali a loro volta necessitano di energia.
- Le fonti rinnovabili possono contribuire a soddisfare i fabbisogni energetici, anch'essi con i relativi ausiliari.

- L'intero sistema dell'impianto, come viene rappresentato nel sottostante schema delle reti di energia, viene infine controllato dalla centralina, la quale, attraverso un accurato monitoraggio decide quale fonte energetica e sistema tecnologico utilizzare, e attraverso il quale è possibile calcolare la produzione energetica e i consumi degli ausiliari di ciascun sistema di impianto.

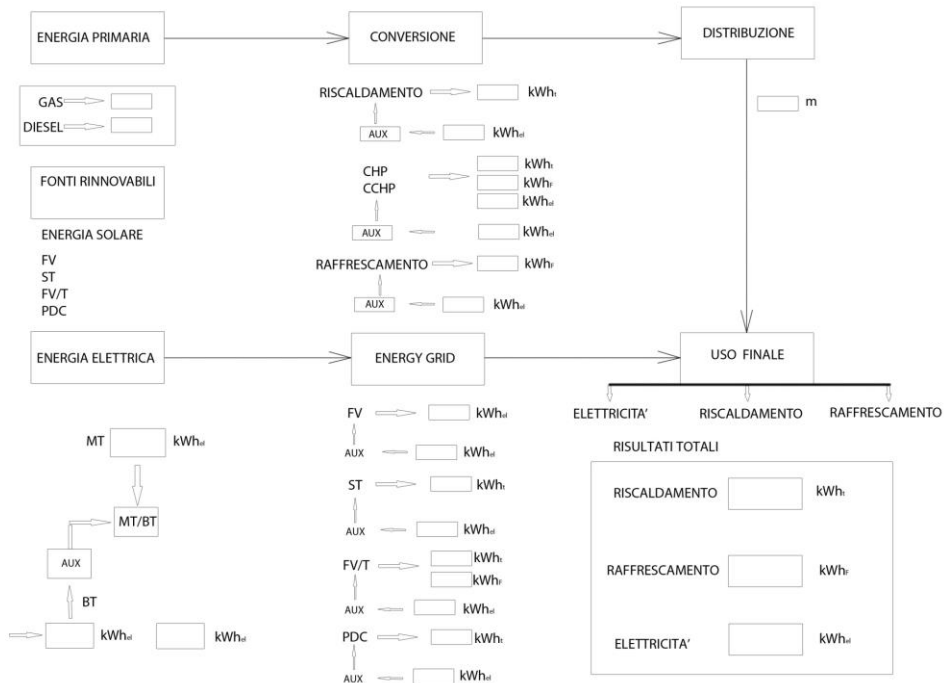


Fig. 3.1 - Processo di conversione e distribuzione di energia dalle fonti di energia primaria

3.1.2 Rete di distribuzione

La distribuzione può essere di tipo centralizzato o autonomo; all'interno dell'unità abitativa l'impianto di distribuzione può essere in serie o ad anello.

La rete di distribuzione dell'acqua è costituita da tubazioni di mandata (caldaia-corpi scaldanti) e tubazioni di ritorno (corpi scaldanti-caldaia). Si distingue tra:

- sistema a due tubi
- sistema monotubo
- collettori complanari

Il sistema a due tubi per edifici a più piani, di tipo tradizionale, prevede solitamente la sistemazione della centrale termica in apposito locale del piano cantinato. La distribuzione orizzontale delle tubazioni corre nello scantinato stesso e le colonne montanti alimentano, direttamente ad ogni piano, uno o più corpi scaldanti.

Questo tipo di distribuzione viene detto dal basso o a sorgente o a candela.

Il sistema monotubo viene utilizzato per ridurre lo sviluppo delle colonne montanti. A ciascuna colonna si collegano da quattro a sei corpi scaldanti, ma la temperatura dell'acqua che alimenta i singoli corpi scaldanti è progressivamente minore. Questa soluzione è stata molto usata fino agli anni '90, ma impedisce la contabilizzazione dell'energia termica utilizzata per ogni singola unità abitativa ed è stata pertanto abbandonata.

Negli impianti moderni la tipologia di impianto più adottata è quella a collettori complanari, che consente sia la riduzione del numero di colonne montanti, che la possibilità di procedere facilmente ad una ripartizione dei costi di riscaldamento in modo proporzionale all'energia termica effettivamente consumata.

Il doppio collettore presenta diversi attacchi per la mandata e il ritorno dell'acqua di alimentazione ai singoli radiatori a partire dalle colonne montanti di mandata e ritorno.

Questi impianti presentano poche colonne montanti, situate solitamente nei vani delle scale, cui si allacciano i collettori con le distribuzioni orizzontali ai singoli piani, in genere situate sotto il pavimento degli appartamenti, ed allacciati ai corpi scaldanti.

Il collettore in questa soluzione viene allacciato alle colonne montanti di mandata e di ritorno.

3.1.3 Terminali di distribuzione

Per quanto riguarda la cessione del calore prodotto agli ambienti serviti, possono essere utilizzati, ad esempio, sistemi ad irraggiamento (radiatori, pannelli radianti, piastre) e convezione (termoconvettori, ventilconvettori).

Si sottolinea che negli impianti termici a bassa temperatura, a differenza di ciò che avviene negli impianti tradizionali, il calore viene trasmesso maggiormente per irraggiamento, attraverso:

- Pavimento radiante
- Soffitto radiante
- Radiatori a zoccolo o a battiscopa

La **temperatura operativa** (o operante) rappresenta la temperatura uniforme dell'aria e delle pareti di un ipotetico ambiente con il quale il corpo umano scambia una potenza termica per radiazione e convezione uguale a quella scambiata con l'ambiente reale. È quindi la media delle temperature dell'aria e di quella media radiante, pesata sui coefficienti di scambio termico convettivo e radiativo.

Per valori contenuti della velocità dell'aria (sotto i 2 m/s) o per differenze non elevate (inferiori a 4°C) tra la temperatura dell'aria ambiente t_a e la temperatura media radiante t_r , può essere valutata in modo semplificato come media aritmetica tra t_a e t_r .

$$t_0 = \frac{t_a + \bar{t}_r}{2}$$

A parità di temperatura operativa, una temperatura media radiante più elevata consente di mantenere la temperatura dell'aria più bassa e viceversa.

Una temperatura media radiante più elevata è ottenibile con superfici radianti più estese ed aventi temperature superiori a quelle dell'aria, ad esempio si possono utilizzare i pannelli radianti.

A parità di temperature superficiali, la temperatura media radiante risulta più elevata quando le superfici radianti sono quelle aventi un più alto fattore di vista, ovvero a parità di rapporti geometrici, i pannelli radianti posti a parete e a pavimento.

Si possono distinguere due categorie di impianti a pannelli radianti:

- Impianti **a umido** (con massetto cementizio)
- Impianti **a secco** (senza massetto cementizio)

Nel caso di riscaldamento a pavimento con massetto cementizio sono necessarie diverse ore prima di riuscire a raggiungere la temperatura desiderata in ambiente interno, mentre nel caso di sistema a secco si ha velocità di risposta e di messa a regime; è quindi possibile raggiungere la temperatura desiderata in 30'.

Il sistema **a secco**, a differenza dei sistemi tradizionali con massetto cementizio, possono essere utilizzati anche in modo ON – OFF.

Grazie alla rapidità di risposta che consente un funzionamento a fascia oraria è possibile risparmiare fino al 15% di energia rispetto ad un sistema a pavimento tradizionale con massetto.

Nei sistemi **a secco**, la temperatura di mandata è di circa 5°C inferiore rispetto ad un sistema con massetto. Ciò porta ad un notevole risparmio energetico.

Nel caso di utilizzo con **pompa di calore** per ogni grado in meno di mandata si ha un aumento di circa 2,5% del COP.

In questa situazione si può ottenere un incremento del 12% del COP, vale a dire ad esempio un passaggio da COP 4 a COP 4,48 con la stessa pompa di calore.

I tempi di asciugatura del massetto di circa 4-6 settimane, necessari nei sistemi **a umido** vengono evitati se viene utilizzato il **principio costruttivo a secco**.

È possibile infatti realizzare l'impianto a pavimento completo di rivestimento in una sola settimana circa.

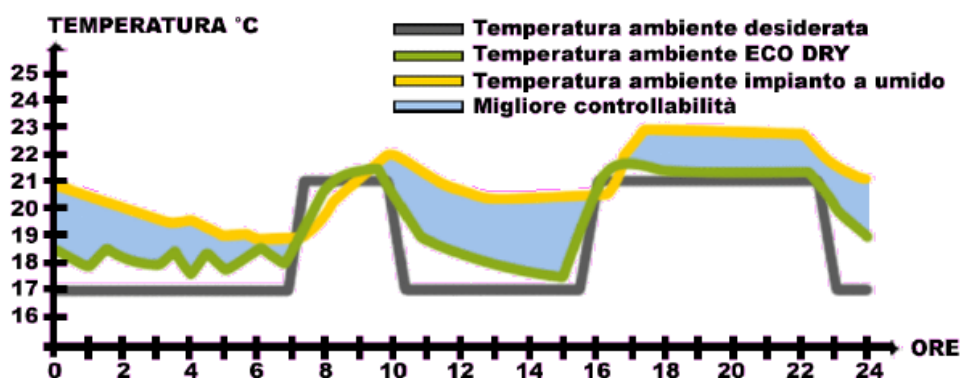


Fig.3.2 - Risparmio energetico con l'installazione di un pavimento sopraelevato (diffuse NESITE) profili di andamento temperatura ambiente

3.2 Geotermia e pompe di calore che sfruttano bacini d'acqua

La geotermia a bassa entalpia sfrutta il sottosuolo come serbatoio termico dal quale estrarre calore durante la stagione invernale ed al quale cederne durante la stagione estiva.

Per fare ciò, il sistema geotermico utilizza un circuito frigorifero basato sul secondo principio della termodinamica. Il calore, costantemente rinnovato dal sole, dalla pioggia e dall'azione del vento, è prelevato grazie ad una rete di serpentine a circa 60 cm di profondità o, in alternativa, attraverso una sonda geotermica verticale.

Una pompa di calore permette lo sfruttamento dell'energia rinnovabile proveniente dal terreno, trasferendola all'interno dell'abitazione attraverso un circuito di distribuzione.

Le diverse opzioni tecniche adottabili per gli impianti geotermici devono però tener conto delle caratteristiche climatiche, geologiche e impiantistiche del luogo scelto per l'installazione.

L'impianto geotermico è più che sufficiente a garantire tutta l'energia necessaria. Il riscaldamento comunque viene garantito solo se l'impianto geotermico, lavora con un impianto interno dimensionato correttamente. In presenza di una falda il sistema rende di più.

In più è possibile installare un impianto fotovoltaico per alimentare la pompa di calore, ottenendo così un impianto a costo ed emissioni zero.

Una prima classificazione degli impianti geotermici può essere fatta in base alla temperatura:

- Alta temperatura $T > 150^{\circ}\text{C}$
- Media temperatura $90 < T < 150^{\circ}\text{C}$
- Bassa temperatura $T < 30^{\circ}\text{C}$

Un'altra classificazione può essere fatta in base al tipo di sistema (aperto o chiuso):

- **sistema aperto**
prevede il prelievo delle acque sotterranee da una falda per restituirle in un sistema aperto ad una temperatura differente. La restituzione avviene generalmente nel medesimo acquifero, ma possono essere considerati anche i sistemi idrografici superficiali, la restituzione in acquiferi differenti, in bacini (aperti o chiusi). Il prelievo/scambio può realizzarsi anche in altri contesti come bacini, cave, lagune, etc.
- **sistema chiuso**
il calore viene ceduto dal sottosuolo all'ambiente da climatizzare mediante un fluidovettore circolante all'interno di sonde verticali in polietilene o altro materiale. Tali sonde sono infisse verticalmente nel terreno a profondità variabili (generalmente tra i 50 ed i 100 m di profondità). Ovviamente esistono infinite varietà di sonde, in base ai seguenti aspetti:
 - il materiale adottato (dall'acciaio inox, al pvc);
 - geometria: doppio tubo, tubo singolo, coassiale, etc;
 - fluido vettore: acqua, acqua + propilene/etc. Sono plausibili diverse geometrie per poter ottenere il geoscambio tra gli edifici da condizionare e le risorse (geo)termiche da sfruttare:
 - sonde in bacini chiusi (laghi) - sonde in bacini aperti mare);
 - sonde verticali - sonde orizzontali, ecc..

La maggior parte degli impianti geotermici sono sistemi chiusi.

I principali impianti a sistema chiuso sono di tipo:

- Sonde geotermiche verticali,
soluzione che sfrutta il calore endogeno della terra, che al di sotto dei 15-20 metri di profondità non risente in nessun modo delle variazioni climatiche esterne e che a profondità di 100-200 metri presenta **temperature fisse di 10-15 °C**. Le sonde geotermiche verticali, quindi, utilizzano temperature del terreno **costanti** per tutto l'anno e che sono tanto più alte quanto più si scende in profondità.
- Con collettori orizzontali,
Si tratta di una soluzione che sfrutta il calore presente a **bassa profondità** nel terreno. I collettori, che sono degli scambiatori di calore in materiale plastico, sono interrati orizzontalmente a circa **1-2 metri** di profondità, al di sotto del limite di congelamento. Già a queste basse profondità, la temperatura del terreno nel corso dell'anno è relativamente stabile, essendo compresa mediamente tra gli estremi **5-20 °C**.
- Ad acqua di falda e di superficie
L'utilizzo geotermico dell'acqua di falda risulta particolarmente interessante quando questa risorsa si trova a profondità di **20-30 metri**. In queste condizioni l'acqua presenta temperature medie di **9-12 °C**, che sono quindi normalmente più alte rispetto alle temperature medie annuali esterne e assicurano buoni rendimenti alla pompa di calore.

A seconda delle necessità di riscaldamento e della configurazione della struttura abitativa si può inoltre scegliere una delle seguenti soluzioni tecnologiche:

- La tecnologia a espansione diretta (suolo/suolo)
- La tecnologia acqua/acqua
- La tecnologia suolo/acqua

La tecnologia a espansione diretta (suolo/suolo)

Caratteristiche:

- La pompa di calore e il pannello radiante trasferiscono il calore per mezzo del fluido frigorifero.
- È un circuito frigorifero semplice, il sensore esterno e il pavimento radiante svolgono la funzione rispettivamente di evaporatore e di condensatore.
- Il buon funzionamento del sistema è garantito dalle progressive evaporazione e condensazione.
- Nel caso in cui si vogliano scaldare più zone dell'abitazione a temperature diverse è possibile utilizzare più di un compressore, a seconda delle differenti destinazioni d'uso.
- Impiegando un sistema a espansione diretta si può ottenere il massimo rendimento con una superficie di captazione ridotta.

La tecnologia acqua/acqua

Caratteristiche:

- Nella soluzione “acqua/acqua” il calore viene trasmesso attraverso un circuito idraulico (acqua glicolata nei sensori esterni, acqua nel pavimento radiante).
- In questo caso è necessario installare anche due scambiatori di calore, oltre al compressore e alla valvola di espansione, i quali rilasciano l’energia necessaria a riscaldare l’acqua, grazie ai processi di evaporazione e di condensazione.
- Rispetto alla superficie richiesta dal sistema a espansione diretta, la superficie prevista per tale sistema è superiore.
- Con l’impiego di sonde geotermiche verticali più profonde, è tuttavia possibile ridurre la superficie captante, ove la superficie del terreno lo permetta.

La tecnologia suolo-acqua

È la combinazione dei due sistemi precedenti. Infatti questa soluzione associa l’utilizzo di un fluido frigorigeno all’interno del sensore a quello di un circuito idraulico per il pavimento radiante o i radiatori.

Caratteristiche:

- L’evaporazione ha luogo all’esterno, come nel sistema a espansione diretta. Un condensatore permetterà il rilascio dell’energia per scaldare l’acqua che circola all’interno dei pannelli radianti o nei radiatori.
- Con la tecnologia mista come quella “acqua glicolata-acqua” è possibile sfruttare la rete di radiatori già esistente.
- Per quanto riguarda il flusso termico captato dalle sonde e il COP valgono le seguenti formule:

$$\dot{Q}_{\text{ground}} = \max(\dot{Q}_{\text{evap}}, \dot{Q}_c) = \dot{m} c_p \Delta T$$

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{useful}}}{P_{\text{copr}}}$$

- Il terreno o il bacino d’acqua possono cambiare temperatura nel giro di 5 anni, diventando sempre più freddi. Si usano quindi pannelli solari in estate per equilibrare.
- L’efficienza del sistema viene misurata attraverso il Seasonal Performance Factor (SPF), che è il rapporto tra calore emesso e la quantità totale di energia elettrica erogata nell’arco dell’anno.

Più alto è il valore SPF, il più efficiente dell’energia è il tuo sistema.

SPF è una misura della prestazione operativa di un impianto di riscaldamento a pompa di calore elettrica per un anno.

$$\text{SPF} = \frac{\text{calore – emesso – (kWh)}}{\text{quantità – totale – di – energia – elettrica – erogata – nell'arco – dell'anno – (kWh)}}$$

Ad esempio, una pompa di calore con una SPF di 2,5 in media consegnerà 2,5 kWh di calore per ogni 1 kWh di elettricità che utilizza.

- Il Daily Factor è un decimale che rappresenta la parte di un rendimento annuo guadagnato in un giorno. I fattori giornalieri sono spesso riportati accanto alle cifre di rendimento annue annualizzate e possono essere riportate alla resa corrente moltiplicando il numero per 365. Occorre studiare la frequenza ottimale con la quale vengono fatte le misurazioni dell'energia consumata e di quella prodotta dall'impianto.

L'SPF viene utilizzato per calcolare la porzione rinnovabile del calore generato dalla pompa di calore.

Per quanto riguarda il bilancio termico, l'energia fornita all'edificio, esso deve essere uguale al calore disperso caso invernale).

$$\dot{Q}_{\text{BLDG}} = \dot{Q}_{\text{DISP}} = k'' A_{\text{TOT}} (T_{\text{INT}} - T_{\text{AIR}})$$

L'effetto utile del ciclo termodinamico sarà:

$$\text{COP}_f = - \frac{Q_{\text{GROUND}}}{L}$$

$$\text{COP}_{\text{pc}} = \frac{Q_{\text{BUILD}}}{L}$$

Il calore ceduto dal suolo all'edificio risulta quindi:

$$Q_{\text{GROUND}} = Q_{\text{BUILD}} (\text{COP} - 1) / \text{COP} \quad \text{in modalità invernale}$$

$$Q_{\text{GROUND}} = Q_{\text{BUILD}} (\text{COP} + 1) / \text{COP} \quad \text{in modalità estiva}$$

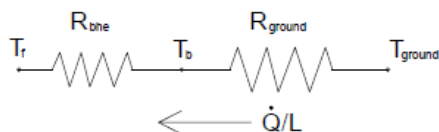
BHE (borehole heat exchange): Scambiatori di calore di tipo verticale connessi tra loro in parallelo

Si possono installare un numero n di scambiatori di calore disposti secondo una matrice regolare (quadrata, rettangolare).

$$R_{\text{ground}}(\tau) = (T_{\text{bhe}} - T_{\text{ground}}) / (\dot{Q} / L)$$

$$\dot{Q} = 2,5 \text{ kW} \quad (\dot{Q} / L = 25 \text{ W / m})$$

R_{bhe} = Resistenza stazionaria, dipende dalle resistenze convettive e conduttive presenti nel BHE



Cortesia del Prof. M. Bernier EP Montreal, M. Fossa, Energie Rinnovabili, Università di Genova

Per quanto riguarda i costi dell'impianto, questi sono funzione del carico termico dell'edificio, ovvero di quanto calore l'edificio ha bisogno, e del tipo di sottosuolo dal quale si preleva calore. Ipotizzando dei dati medi, per una abitazione di 150 mq sono necessari circa 20.000 euro.

3.2.1 Impianto pompa di calore che usa bacini d'acqua come volano termico stagionale

La pompa di calore consente di raffrescare l'edificio in estate e di riscaldarlo in inverno, sfruttando l'accumulo della cisterna. La pompa di calore è riconosciuta equivalente ad una fonte di energia rinnovabile, eliminando il ricorso al gas, riducendo tutto ad un sistema elettrico e determinando la diminuzione delle emissioni di CO₂.

Il rischio dovuto alla formazione di alghe o altri organismi all'interno dei bacini d'acqua (per temperature di 25°C) può essere evitato con sistemi ad ultrasuoni che ne impediscono la crescita.

Esempi di impianti esistenti che utilizzano un bacino d'acqua per la climatizzazione attraverso una pompa di calore sono:

- il Convento dei Padri Domenicani a Sestri Levante
- la Villa Olmo a Como
- il Complesso dei Crociferi a Venezia, con pompa di calore che usa acqua di laguna
- il sistema di controllo termico delle vasche dell'acquario di Genova

Il Convento dei Padri Domenicani a Sestri Levante

Si riporta di seguito l'esempio del Convento dei Padri Domenicani di Sestri Levante, il cui volume servito complessivamente dall'impianto di climatizzazione è pari a 11.000 m³. Le sorgenti povere facilmente accessibili in questo contesto sono l'aria esterna e l'acqua di mare.

Nel suo complesso l'impianto di climatizzazione è costituito da una pompa di calore reversibile, di potenza termica estiva ~ 240 kW e potenza termica invernale ~ 310 kW.

L'impianto è affiancato ad un sistema di ventilconvettori installati negli ambienti interni, da circuiti di adduzione dell'acqua calda e fredda.

Per quest'impianto è stato scelto di utilizzare come sorgente povera l'acqua di mare, data l'estrema facilità di approvvigionamento e la volontà di realizzare un innovativo centro dimostrativo per l'applicazione della oceanotermia alla teleclimatizzazione urbana.

Differentemente dalle tradizionali pompe di calore aria/aria e aria/acqua, questo sistema acqua di mare/acqua dolce ha presentato in via di progetto delle problematiche da superare completamente diverse. Infatti, scomparsa la problematica del defrosting dell'aria esterna sulla batteria evaporante, in questo contesto la problematica maggiore incontrata è stata quella di preservare l'impianto dal contatto diretto con acqua di mare, evitando l'instaurarsi di fenomeni di corrosione e biofouling.

A tal fine è stato deciso di effettuare uno scambio termico intermedio tra acqua di mare e acqua dolce, riducendo così la parte dell'impianto che è percorsa da acqua di mare.

Tale scambio avviene in uno scambiatore a piastre in titanio. L'acqua dolce, dopo aver scambiato calore con l'acqua di mare, viene inviata alla pompa di calore che la utilizzerà come sorgente calda o fredda a seconda del regime stagionale.

L'inversione stagionale è esterna alla pompa di calore ed è eseguita sull'impianto intervenendo manualmente su un gruppo di 4 valvole a tre vie. La scelta di valvole a tre vie

manuali, invece che automatiche (più costose), è possibile in quanto è necessario intervenire su di esse solo due volte l'anno, nel passaggio dal regime invernale a quello estivo e viceversa.

Soffermandosi all'analisi della situazione estiva, la circolazione dell'acqua dolce nello scambiatore in titanio è assicurata da due pompe di circolazione della potenza nominale di 4 kW, portata nominale di 27 m³/h e prevalenza pari a 140 kPa che vengono azionate alternativamente secondo una logica di controllo.

Al lato impianto, la circolazione dell'acqua nei fan coil dell'edificio è assicurata da due pompe con motore elettrico trifase da 7 kW, portata nominale di 44 m³/h, prevalenza di 160 kPa e comandate dalla stessa logica di controllo delle pompe precedenti.

Per l'acqua di mare è invece installata una pompa da 4 kW autoadescante con girante in bronzo, che attinge da una tubazione con valvola di non ritorno per l'acqua di mare.

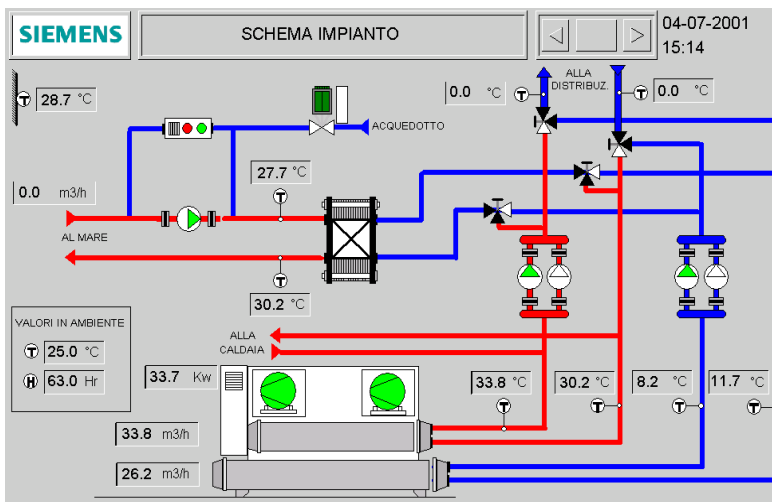


Fig. 3.3 - Sinottico dell'impianto nel funzionamento estivo [12]

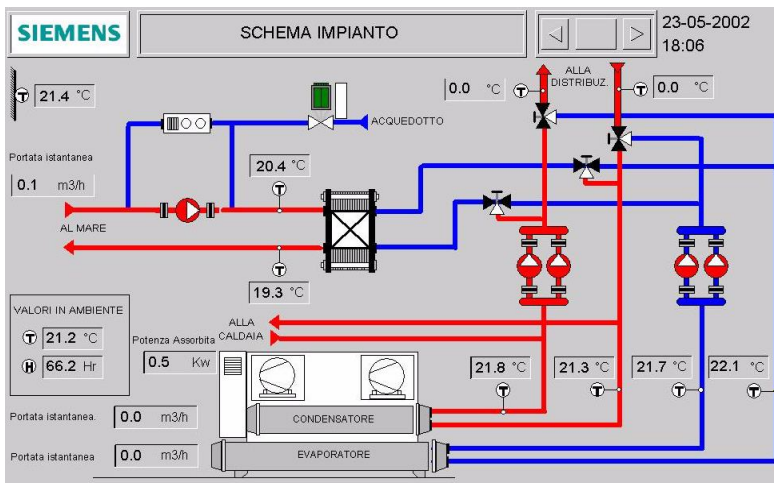


Fig. 3.4 - Sinottico dell'impianto nel funzionamento invernale [12]

3.3 Solar Compact Hybrid System (SCHOYS)

Secondo quanto riportato nelle European Heating and cooling Roadmap [1], i proprietari di casa non vogliono comprare i componenti separati, come i collettori solari, i serbatoi d'acqua, le caldaie di riserva e altra apparecchiatura. Al contrario, preferiscono installare soluzioni più compatte per ACS e addirittura soluzioni che con un unico sistema (Combi systems) forniscano sia ACS che riscaldamento.

Queste soluzioni dovrebbero essere realizzabili, economicamente competitive, compatte, ecologiche, e sostenibili.

Bisogna considerare che venti anni fa, i sistemi solari erano progettati principalmente su misura dagli installatori, che combinavano diversi componenti di diversi produttori. Oggi i produttori vendono sistemi solari come unità con un elevato grado di prefabbricazione.

Di solito, i produttori offrono sistemi solari che possono essere combinati con una grande varietà di sistemi di riscaldamento.

Tuttavia questa diversità aumenta la complessità, costi e rischio di errori al momento dell'installazione e il rischio di un funzionamento non ottimale a causa dei conflitti tra il controllore del sistema solare e il riscaldamento di riserva.

La sfida è quindi quella di rendere i sistemi di riscaldamento più compatti e integrati.

Questa sfida può essere risolta con i **“Solar Compact Hybrid System” (SCHOYS)**, che includono il sistema solare e il riscaldamento di riserva in un'unità compatta.

Gli SCHOYS saranno una soluzione compatta a costi ridotti grazie a un design semplificato, un solo controller, un elevato grado di prefabbricazione e uno costo di installazione ridotto.

Grazie alla combinazione ottimizzata dei componenti e della prefabbricazione, miglioreranno le prestazioni e l'affidabilità.

Gli obiettivi dell' iter di sviluppo degli SCHOYS sono:

- riduzione dei costi del solare del 50%
- maggiore compattezza con requisiti spaziali e tempi di installazione ridotti, e
- miglioramento di affidabilità e delle prestazioni

Gli SCHOYS sono sistemi compatti di approvvigionamento di calore che comprendono la sorgente di riscaldamento solare e il riscaldamento di backup (ad esempio basato su bio energie o pompe di calore) con una frazione solare almeno del 50% nel caso dei sistemi SCHOYS per l'ACS, i quali distribuiscono solo acqua calda sanitaria e una frazione solare almeno del 25% nel caso di “combi SCHOYS systems”, i quali distribuiscono acqua calda sanitaria e riscaldamento.

Le frazioni solari sono legate all'uso tipico e agli edifici dell'Europa centrale con un fabbisogno medio di riscaldamento.

Gli obiettivi dell'iter di sviluppo dei SCHOYS prevedono attività di Ricerca e Innovazione (R&I) per le seguenti applicazioni:

- SCHOYS per case unifamiliari - ACS e sistemi combinati (ACS + Riscaldamento)
- SCHOYS per case plurifamiliari – ACS
- SCHOYS per case plurifamiliari - sistemi combinati (ACS + Riscaldamento)

Principali caratteristiche combi systems:

- temperature medio-alte
- necessita di accumulo
- modesta copertura dei fabbisogni
- necessita di impianto ausiliario

È possibile considerare in alternativa dei sistemi passivi di riscaldamento.

Per le prime due applicazioni le azioni R&I sono divise in una fase di ricerca applicata (ACTION I) e una fase di dimostrazione (ACTION II). Per la terza applicazione lo sviluppo e la dimostrazione si combinano in un'unica azione (ACTION III). Le azioni di R&I comprendono attività di ricerca sui diversi componenti e gli aspetti tecnici, unendoli ad un approccio olistico. Inoltre, l'iter di sviluppo individua azioni nel campo di tecnologie abilitate, di standard e qualità, del quadro socioeconomico e degli aspetti legali e amministrativi.

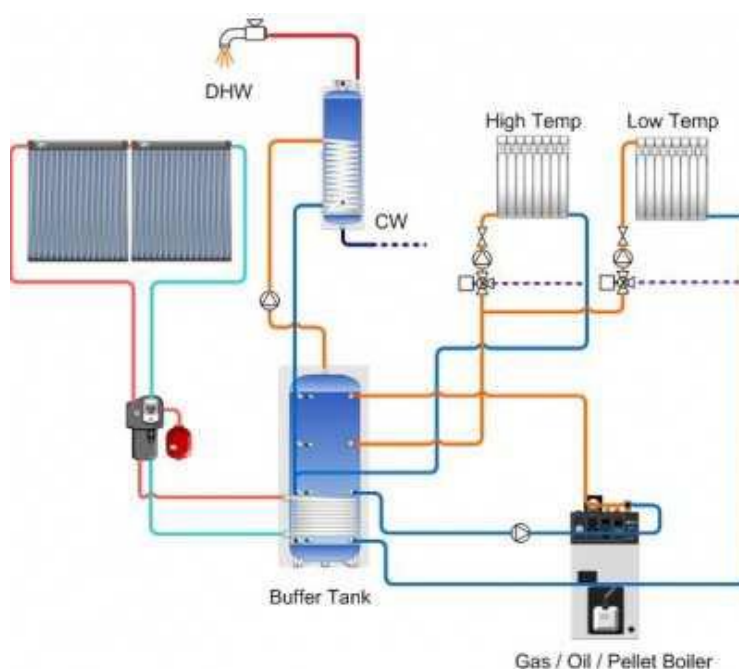


Fig. 3.5 - Schema tipico combi-system (ACS e riscaldamento)

Solare Termico - Accumulo

Tipi di classificazione

- per tipologia di materiale
 - ad acqua (sistemi ad acqua)
 - a letto di pietre (per sistemi ad aria)
 - a sostanze chimiche (sperimentale)
- per durata
 - giornaliero
 - stagionale

Accumuli a liquido (acqua)

vantaggi	svantaggi	forma accumulo
basso costo	necessità di isolamento termico	verticale, per favorire la stratificazione
facile reperibilità	buono scambio termico con l'esterno	
elevato calore specifico	aggiunta anticongelanti	
buono scambio termico negli scambiatori		
piccolo volume		

Dimensionamento dei serbatoi di accumulo dell'acqua e dei pannelli solari termici

Accumulo giornaliero: dimensionamento per garantire l'autonomia di un giorno.

$$m = \frac{E}{c_p (T_{\max} - T_{\min})}$$

Come prassi: 50 lt/m² di collettore

Alle nostre altitudini l'area ottimale dei collettori solari per la produzione di ACS è di circa 1m² a persona.

Quest'area non è in grado di coprire tutta la domanda di energia, ma non conviene cercare di aumentare questa quota ulteriormente perché il ritorno economico diverrà sempre più basso.

METODO F-CHART

Il metodo f-chart fornisce il fattore di copertura solare (f).

Esiste una frazione di copertura solare ottimale e una superficie che rende minimo il costo complessivo dell'impianto.

A partire dalla frazione mensile coperta dal sistema solare si può calcolare il grado di copertura annuale (rapporto tra l'energia fornita annualmente dal sistema solare e il fabbisogno complessivo annuale dell'edificio).

Si definiscono due parametri adimensionali X e Y.

$$X = \frac{A_c R'_R U_L (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta L}{L}$$

$$Y = \frac{A_c F' R (\bar{\tau} \alpha) H_T N}{L}$$

F_R =fattore di efficienza e scambio termico [-]; è il rapporto tra calore raccolto dal collettore su quello che potrebbe essere raccolto se la piastra fosse alla temperatura del fluido t_{fi} ;

A_c =superficie utile di captazione [m^2];

t_m =temperatura media del fluido nel collettore [$^{\circ}C$];

t_a =temperatura ambiente esterno [$^{\circ}C$];

U_L =coefficiente di dispersione termica globale del collettore [$W/(m^2K)$];

τ =coefficiente di trasmissione copertura [-];

α =coefficiente di assorbimento piastra [-];

I =irradiazione solare [W/m^2]

SOLARE TERMICO SIME

$A_c=1,82 m^2$

$t_m=t_r$ indica una temperatura di riferimento fissata in genere a $100^{\circ}C$

t_a =indica la temperatura media mensile dell'aria esterna nel sito considerato;

U_L =rappresenta il coefficiente complessivo di dispersione termica dei collettori [W/m^2K]; per i prodotti più diffusi varia generalmente tra 3 e 6;

$\Delta\tau$ =esprime il numero di secondi del mese;

L =è il carico termico mensile dell'utenza collegata all'impianto [J];

$\tau\alpha$ =è il prodotto dei coefficienti di trasmissione ed assorbimento

I =irradiazione solare [W/m^2]

Dimensionamento impianto solare

L'obiettivo non è quello di coprire tutta la domanda di energia con l'impianto solare. E' quello di massimizzare l'effetto utile dell'investimento, ovvero dimensionare l'impianto solare in modo che il valore attuale netto della spesa e del beneficio sia massimo.

La frazione di copertura solare ottimale è di circa 40-50%.

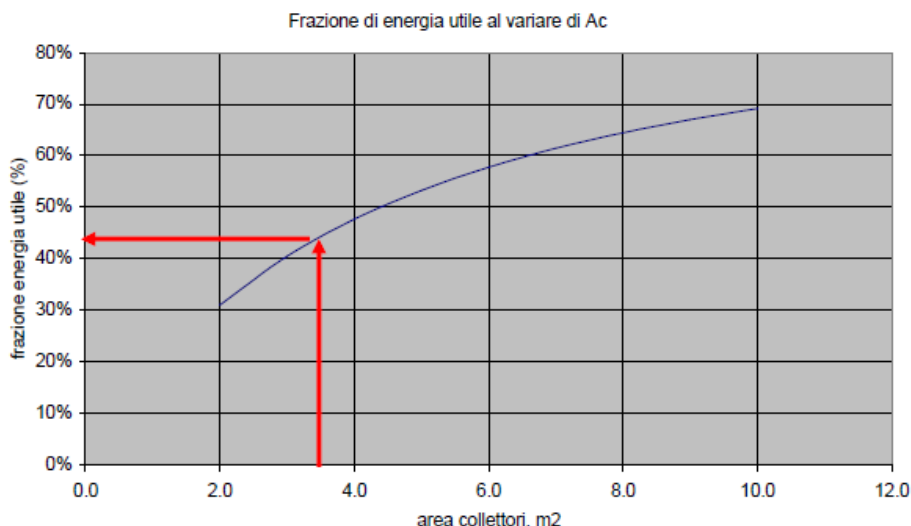


Fig. 3.6 - Frazione di copertura solare ottimale, Fonti Rinnovabili G.V. Fracastoro

3.4 Impianti Eolici

Prima di ipotizzare e progettare un impianto eolico è importante valutare le caratteristiche di ventosità del sito in questione. Questo perché la velocità inizio produzione delle pale eoliche 3m/s, 10.8km/h, ciò vuol dire che un area ottimale per l'installazione di tale impianto presenta un vento non è costante e il più possibile unidirezionale.

Analisi di fattibilità

La conoscenza delle caratteristiche dell'intensità del vento, nel tempo, del sito in esame è fondamentale al fine di stabilire la fattibilità tecnica ed economica di un'installazione eolica.

Il processo di analisi di fattibilità deve contemplare:

- Le misure della velocità e della direzione del vento
- la definizione della rosa dei venti del sito, da misure sperimentali
- la costruzione della curva di Weibull relativa alle caratteristiche del sito
- la costruzione della curva di distribuzione (pdf) della potenza disponibile e del coefficiente di potenza

- il calcolo del fattore di utilizzo annuo (capacity factor), inteso come rapporto tra energia erogata effettiva ed energia erogata se la macchina lavorasse continuativamente (8766 ore/anno) in condizioni nominali di potenza massima.

Le misure della velocità e della direzione del vento vengono effettuate con anemometri a palette o a filo caldo, su base oraria, mensile e stagionale, e vengono collegati a un sistema di acquisizione dati.

Il profilo della velocità andrebbe definito con la quota, pertanto tutte le misure andrebbero effettuate ad altezze differenti dal suolo, ad esempio a 10, 20, 40 m.

È necessaria una serie statisticamente significativa di dati, mediando le misure ad esempio ogni 10 minuti.

Una volta acquisiti i dati essi vengono utilizzati per rappresentare la rosa dei venti e la funzione densità di probabilità della velocità del vento:

- la rosa dei venti riporta in un diagramma polare la direzione, la distribuzione, la frequenza e il cubo della velocità media nelle diverse direzioni cardinali.
- le misure anemometriche, relative ad una certa direzione del vento, spesso mostrano una curva di densità della probabilità del vento, non simmetrica. Tale tipico profilo è in genere assimilato alla curva distribuzione di probabilità (PDF) di Weibull.

La distribuzione temporale della velocità del vento per un sito, viene di solito descritta usando la funzione di distribuzione statistica di Weibull

La curva di densità di probabilità di Weibull è una curva a 2 parametri del tipo:

$$f(w) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{w}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{w}{\eta}\right)^{\beta}}$$

Dove β è il parametro di forma (shape parameter) e η è il parametro di scala (scale parameter) proporzionale alla velocità media.

È fondamentale osservare che:

- il contenuto energetico della corrente d'aria segue una legge cubica in relazione alla velocità
- soltanto una frazione di energia può essere teoricamente sfruttata (Betz)
- la macchina eolica sfrutta solo una parte dell'energia teoricamente disponibile.

Il metodo più semplice per ricavare i parametri β e η consiste nell'utilizzare le informazioni della distribuzione cumulativa.

Si determinano due nuove variabili ausiliarie x e y espresse dalle relazioni seguenti:

$$x = \ln(w) \quad y = \ln[-\ln(1 - F)]$$

Il diagramma che rappresenta la variabile y in funzione della variabile x è descritto da una retta di equazione:

$$y = y_0 - mx \text{ (e.g. regressione ai minimi quadrati)}$$

Il coefficiente angolare m di tale retta è pari a β , mentre il termine y_0 consente di valutare il parametro di scala η come: $\eta = e^{-(y_0/m)}$

La velocità di avvio degli aeromotori (Cut in Wind Speed)

Solo una quota parte di energia cinetica del vento può essere sfruttata, infatti la velocità di soglia alla quale di solito sono progettati gli aerogeneratori è in genere compresa tra 3 e 5 m/s.

In Fig. 3.7 si riporta la mappa delle curve di ventosità per l'Italia. Viene inoltre riportata (Fig. 3.8) la rosa dei venti di Genova con l'indicazione della direzione e della velocità del vento.

Come si può notare per la Liguria la velocità media del vento si attesta sui 2-3 m/s. Si tratta quindi di una regione nella quale, a parti alcune zone caratterizzate da una morfologia o esposizione particolarmente vantaggiose (come ad esempio i crinali) non sono adatte all'installazione di impianti eolici.

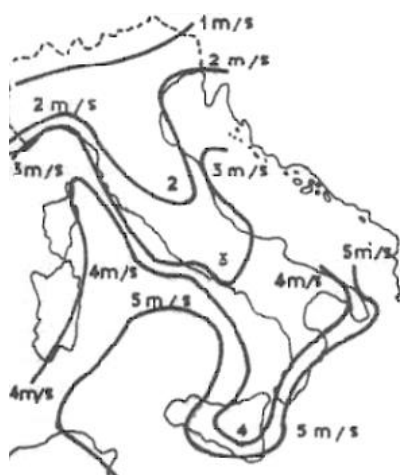


Fig. 3.7 - Mappa delle curve di ventosità in Italia

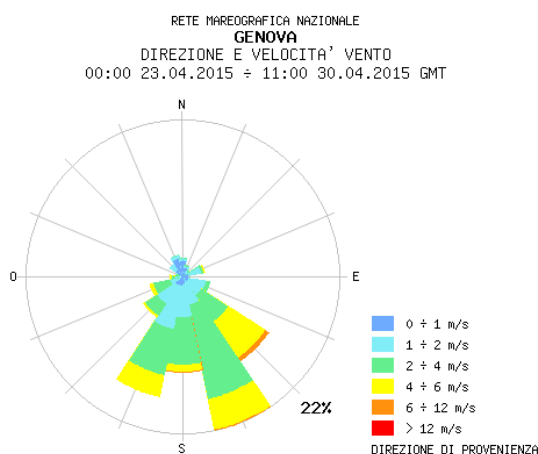


Fig. 3.8 - Rosa dei venti con l'indicazione della direzione e della velocità del vento

La velocità di arresto degli aeromotori (Cut Out Speed)

Le turbine eoliche in genere vengono arrestate per velocità del vento troppo elevate, in genere sopra i 25 m/s. il motivo è quello di evitare sovrasollecitazioni.

Anche per questo motivo vi è una quota parte dell'energia del vento non sfruttabile.

Le curve caratteristiche degli aeromotori vengono rappresentate, in termini di **coefficiente di potenza**, in funzione della velocità del vento, in ragione di un limitato campo di utilizzo delle velocità.

Coefficiente di potenza: $c_p = P / P_0 = P(w) / (0,5\rho A w^3)$

L'andamento grafico di tale funzione è riportato in Fig. 3.6.

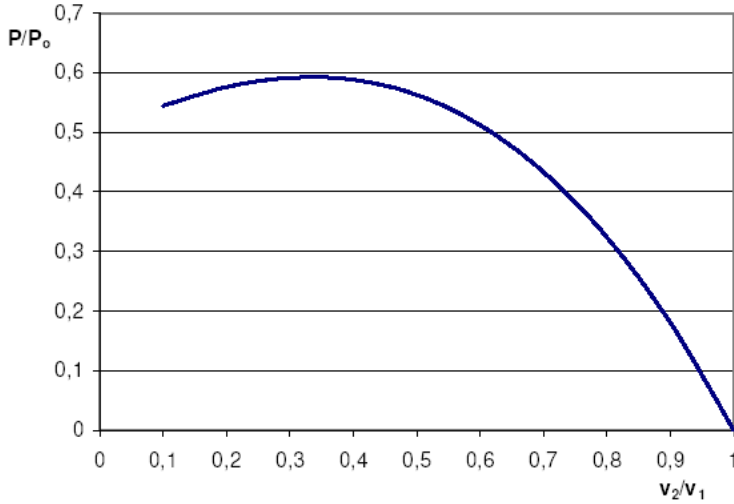


Fig. 3.9 - Andamento del coefficiente di potenza in funzione del rapporto tra le velocità del vento a valle e a monte della turbina.

Si deve quindi considerare la funzione integrale:

$$E_E = \int_{\text{tempo}} P_{el}(\tau) d\tau$$

Dove P_{el} dipende dal vento

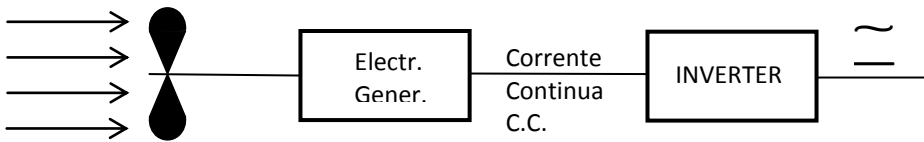


Fig. 3.10 - Schema funzionamento di un aerogeneratore

La teoria di Betz

Di seguito vengono riportate le formule e il procedimento per il calcolo della produzione energetica degli aerogeneratori.

La teoria di Betz individua l'efficienza massima teoricamente raggiungibile da un impianto eolico.

Applicando l'equazione di continuità a questo volume di controllo, il tasso di massa fluida (ossia la massa fluente per unità di tempo) è data da:

$$m = \rho_1 A_1 w_1 = \rho_2 A_2 w_2 \quad (\text{eq. di continuità})$$

dove w_1 è la velocità davanti al rotore, w_2 è la velocità alle spalle del rotore, ρ è la densità del fluido, e l'area della turbina è data da A . La forza esercitata dal vento sul rotore può essere scritta come:

$$F = m(w_1 - w_2) = \rho A w (w_1 - w_2)$$

Potenza contenuta nel fluido. Sostituendo la forza F calcolata in precedenza nell'equazione della potenza, sarà disponibile la potenza che può essere estratta dal fluido in movimento

$$P = Fw = \rho A w^2 (w_1 - w_2) \quad (\text{conservazione dell'energia})$$

$$\rightarrow w = (w_1 - w_2)/2$$

La potenza può essere calcolata anche in un altro modo usando l'energia cinetica. Applicando l'equazione di conservazione dell'energia al volume di controllo si ottiene:

$$\rightarrow P = 0,5m(w_1^2 - w_2^2) = 0,25Ap(w_1 + w_2)(w_1^2 - w_2^2)$$

Fissata la velocità di monte w_1 , è possibile derivare l'espressione di P per valutare il massimo della funzione $P(w_2)$.

$$dP / d(w_2) = 0$$

$$dP / d(w_2) = 0,25(w_1^2 - 2w_1w_2 - 3w_2^2) = 0$$

L'equazione fornisce due soluzioni: $w_2 = -w_1$ e $w_2 = w_1/3$ da cui:

$$P_{\max} = 8/27 \, Apw_1^3 \quad \text{posto} \quad P_0 = 0,5Apw_1^3$$

$$P_{\max} / P_0 = cp = 16/27 = 0,593$$

dove cp =coefficiente di potenza

La teoria di Betz dimostra quindi che si può convertire al massimo 16/27 (o il 59,3%) dell'energia cinetica del vento in energia meccanica usando una turbina eolica.

In ragione di un limitato campo di utilizzo di velocità, le curve caratteristiche degli aeromotori, in termini di coefficiente di potenza, hanno un tipico andamento a massimo.

Per edifici o contesti storici o recanti vincoli paesaggistici, è possibile utilizzare un impianto micro-eolico, in quanto rappresenta una soluzione meno impattante rispetto alle pale eoliche di tipo industriale e di dimensioni elevate.

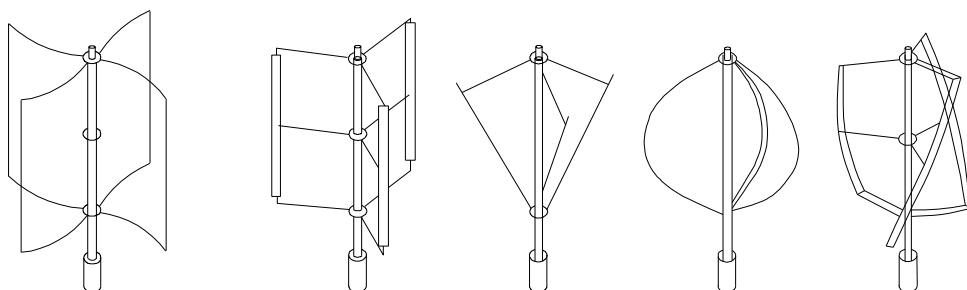


Fig. 3.11 - Tipologie di micro-eolico

Si riportano di seguito i pregi e difetti della tipologia di **micro-eolico Savonius**:

Pregi:	Difetti:
Poco ingombrante	Basso rendimento
Geometria più compatta	Coppia incostante
Poco rumorosa	Bassa resa aerodinamica con oscillazioni di coppia sull'albero motore e quindi sui cuscinetti
Si avvia con poco vento	Cut-in speed dipendente dalle condizioni globali di vento e geometriche
Coppia elevata all'avviamento	Cut-in speed mediamente 30% più alti
Oppone scarsa resistenza al controvento	
Basso impatto estetico	
Costo mediamente poco inferiore	

3.5 Pompe di calore elio-assistite (PCEA)

Impianti caratterizzati da collettori solari collegati ad una pompa di calore tipo acqua-acqua per la produzione di acqua calda sia ad uso sanitario, sia per il riscaldamento degli edifici.

Integrare una pompa di calore con collettori solari consente un significativo miglioramento dell'efficienza COP (grazie all'aumento della temperatura dell'acqua all'evaporatore) ed aumento di rendimento di captazione (grazie alla bassa temperatura del pannello che riduce le dispersioni).

3.5.1 Modulo Ibrido Fotovoltaico Termico (PV/T)

I pannelli solari ibridi consentono sia la produzione di energia elettrica che di energia termica. Si possono ricavare dei buoni risultati per il riscaldamento dell'acqua sanitaria e per il condizionamento ambientale.

Il solare fotovoltaico (modulo fotovoltaico) assorbe le radiazioni solari e la componente di energia termica viene recuperata da uno scambiatore (piastra refrigerante sottostante) che incrementa anche la produzione elettrica fino a circa il 16% in più rispetto a un pannello tradizionale.

Al modulo fotovoltaico è abbinato un collettore in alluminio che convoglia il calore, generato sia dall'irraggiamento solare sia dal normale funzionamento (effetto Joule), ad un fluido antigelo che circola all'interno del collettore (Fig. 3.8).

Mediante un collegamento idraulico con uno scambiatore termico e un gruppo di accumulo per l'acqua calda, il sistema ibrido consente di preriscaldare l'acqua in mandata alla caldaia di casa. Questa può poi essere utilizzata per far funzionare un sistema termoidraulico a pavimento o per il riscaldamento di piscine e simili.

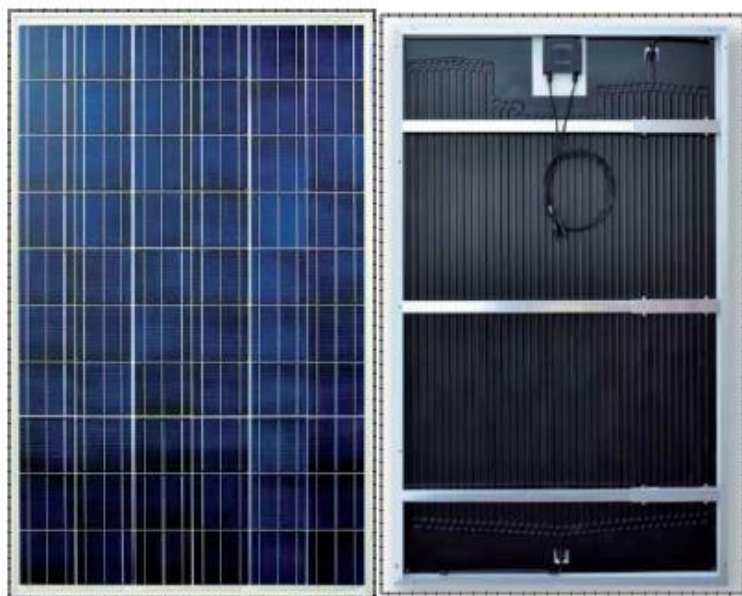


Fig. 3.12 - Il modulo ibrido I3A235P, visione fronte fronte-retro [1]

I pannelli solari termici (ST) e le pompe di calore (PDC) possono essere vantaggiosamente accoppiati, in sistemi di pompe di calore elio-assistite (SAHP), al fine di bilanciare l'efficienza del collettore PST (che richiede una bassa temperatura di superficie del pannello, vicina a temperatura ambiente) e l'Indice di Efficienza Energetica (EER) del ciclo inverso (che richiede alte temperature d'esercizio dell'evaporatore).

Il concetto del sistema PCEA consiste nel superamento dei limiti operativi dei tradizionali pannelli solari, come mostrato in fig. 3.9, ove tradizionali sistemi a circuito d'acqua PST sono comparati al concetto SAHP (Fig. 3.9 (b)).

Mentre nel caso (Fig. 3.9 (a)) il collettore trarrà energia dal pannello a temperatura T_p che deve essere uguale alla temperatura dell'utenza T_u , nel caso (b) l'utilizzo di un ciclo inverso permette che T_p ed T_u siano indipendenti fra loro. Impianti di riscaldamento di riserva risultano sempre necessari per integrare il fabbisogno energetico delle utenze a causa dei vincoli di temperatura, che possono rappresentare un grosso svantaggio di sistema, in particolare (nel caso (a) dove $T_p = T_u$) dovuto alle perdite dal pannello scoperto nell'ambiente. Una revisione estesa è riportata in uno studio sullo sviluppo del sistema SAHP per l'acqua calda sanitaria condotto da Wang Z., Guo P., Zhang H., Yang W. and Mei S., 2017.

Lo svantaggio principale riconosciuto del sistema (a) (Figura 3.9 a) è quello di avere elevate dispersioni termiche dai pannelli, che significa avere una bassa efficienza del pannello (non più del 50% su base annuale) e di conseguenza una minore copertura del fabbisogno dell'utenza finale. I risultati sono peggiori in relazione al riscaldamento dell'ambiente. Per questa ragione si raccomanda l'impiego di pannelli isolati con larghe superfici captanti e serbatoi di accumulo, che comportano elevata produzione energetica in KWh da energia solare ed un effettivo risparmio economico (circa 30c€/kWh).

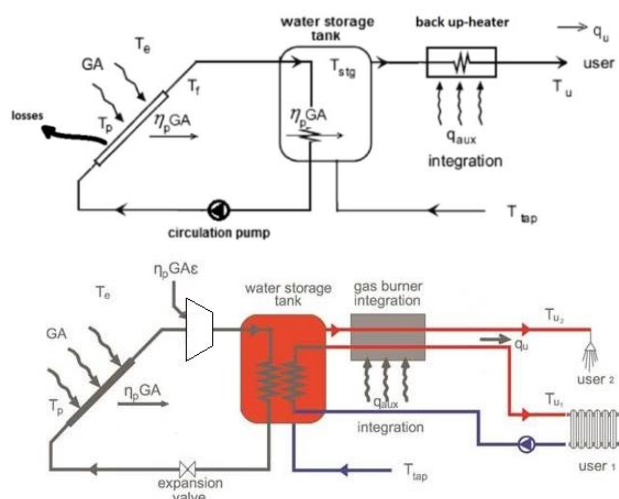


Fig. 3.13 - Concetto di Pannello Solare Termico tradizionale (a) a sinistra e pompa di calore elioassistita con caldaia di riserva (b) sulla destra

Questi tradizionali svantaggi possono essere superati utilizzando la soluzione (b) (figura 1b): SAHP, una tecnologia ben conosciuta che viene sviluppata in diverse configurazioni [2].

Il concetto principale è quello di sostituire il ciclo ad acqua nel pannello con un ciclo a fluido refrigerante. L'utilizzo di una pompa di calore fra i pannelli solari, che funziona come un evaporatore, e l'utenza, rende possibile avere temperature diverse fra il pannello e l'utilizzo finale.

Questo è dovuto al consumo di energia elettrica a mezzo di un compressore ed all'utilizzo di un condensatore, che è a temperatura utenza, più alta della temperatura dell'evaporatore (uguale alla temperatura di superficie del PST). Con questa soluzione la temperatura del pannello è molto bassa, vicina a temperatura ambiente, con perdite molto basse, cosicché nessun tipo di isolamento sia necessario. Se la temperatura di superficie del PST viene mantenuta vicino a quella ambientale, quasi tutte le perdite termiche del PST sono azzerate ed è possibile raggiungere una alta efficienza del pannello (sino a 95-100%).

L'obiettivo del costo energetico dell'energia solare è di circa 10 c€ kWh⁻¹. La copertura della domanda di energia termica dell'utente può raggiungere il 70% della necessità totale degli utenti del palazzo, includendo riscaldamento invernale.

L'utilizzo di una espansione diretta, dove i pannelli solari lavorano come evaporatori, non è più possibile quando è necessaria un'elevata potenza termica. Infatti, elevate capacità di raffreddamento significano elevate portate di fluido refrigerante a due-fasi nei pannelli, e questo implica grossi problemi di distribuzione nel tubo del collettore che alimenta in parallelo più pannelli separatamente. Pertanto è necessario orientarsi su una PCEA acqua-acqua, dove il fluido impiegato è l'acqua e non insorge alcun problema di nella distribuzione del flusso.

Il flusso d'acqua va dai pannelli solari verso un serbatoio, refrigerato tramite l'evaporatore PDC. La pompa di calore riscalda un secondo serbatoio, il condensatore, connesso al circuito termico d'acqua dell'utenza alimenta l'ACS (Acqua Calda Sanitaria) o il circuito di riscaldamento.

Questa configurazione ha grossi vantaggi, anche con lunghe distanze fra PST ed il riscaldamento.

Altri vantaggi riguardano l'opportunità di utilizzare componenti standard, la possibilità di regolare molto facilmente le temperature di esercizio sia dell'evaporatore che del condensatore, ed in aggiunta l'utilizzo di un by-pass per spegnere la pompa di calore quando la temperatura del pannello è sufficientemente alta da soddisfare direttamente le necessità termiche dell'utenza (Fig. 3.10).

Come svantaggi, ovviamente, c'è la necessità di aggiungere scambiatori termici, che significa produzione entropica durante i trasferimenti di calore. Questo sistema è molto complesso poiché devono essere introdotti molti componenti ausiliari e c'è anche la necessità di un controllore smart per la corretta regolazione di tutti i componenti durante il funzionamento, ed ultimo ma non meno importante, si presenta anche la difficoltà nell'adoperare interfacce appropriate con i riscaldatori ausiliari e i sistemi ACS e di riscaldamento esistenti.

Combinando collettori solari termici ed altre tecnologie si possono ottenere delle sinergie, considerando che i Collettori ibridi termici Fotovoltaici (PV/T) producono calore ed elettricità.

I Collettori FVT non invetriati che combinano un modulo FV con uno scambiatore termico, al fine di ridurre le temperature del modulo FV sono già disponibili. I Collettori PVT vetrati, dove

il modulo PV assorbitore-sandwich è costruito nell'involucro di un collettore che fornisce acqua calda domestica senza pompe di calore, sono in fase di sviluppo [3].

Un recente studio sperimentale su un nuovo sistema pompa di calore elio assistita e circuito con heat-pipes (PV-PCEA/LHP) [4], mostra che sistemi combinati possono svolgere due modalità di funzionamento, utilizzando lo stesso fluido. Le due modalità possono essere scambiate durante il funzionamento.

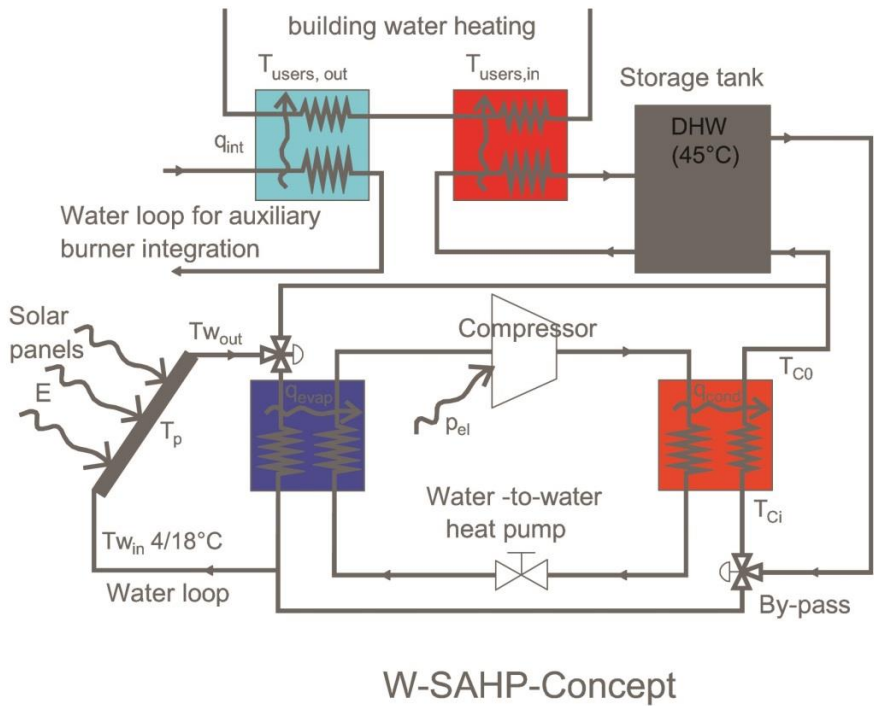


Fig. 3.10 - Pompa Di Calore Elio Assistita per il scaldare l'acqua, con circuito by-pass e pompa di calore acqua-acqua (una specifica applicazione è il riscaldamento dell'acqua di una piscina)

Un COP medio giornaliero di 3.66 è stato ottenuto con l'impiego del metodo FV-PDCEA. Altri studi [5] analizzano l'incremento dell'efficienza dei pannelli PV/T per mezzo di dati sperimentali e matematici al fine di determinare i parametri che più influenzano il loro funzionamento.

Accumuli a liquido (acqua)

vantaggi	svantaggi	forma accumulo
basso costo	necessità di isolamento termico	verticale, per favorire la stratificazione
facile reperibilità	buono scambio termico con l'esterno	
elevato calore specifico	aggiunta anticongelanti	
buono scambio termico negli scambiatori		
piccolo volume		

3.6 Impianto AI.CO.WA. (AIr COnditionig with heat pump WAtEr-water)

Si tratta di uno studio applicato ad un impianto prototipo realizzato da ENEA, nel quale la macchina frigorifera è a servizio di un container sperimentale [13].

In questo impianto la macchina frigorifera è una pompa di calore elettrica a compressione ed è in grado di erogare potenza termica e potenza frigorifera.

L'acqua calda e l'acqua refrigerata, prodotte contemporaneamente dalla macchina, vengono stoccate nei rispettivi serbatoi di accumulo caldo e freddo da cui si alimentano i circuiti dei ventilconvettori e di un'Unità di trattamento Aria dotata di recuperatore rotativo entalpico.

Il riscaldamento e il raffrescamento dell'ambiente è garantito mediante ventilconvettori del tipo a cassette installati a vista a soffitto.

L'impianto è composto dalle seguenti apparecchiature:

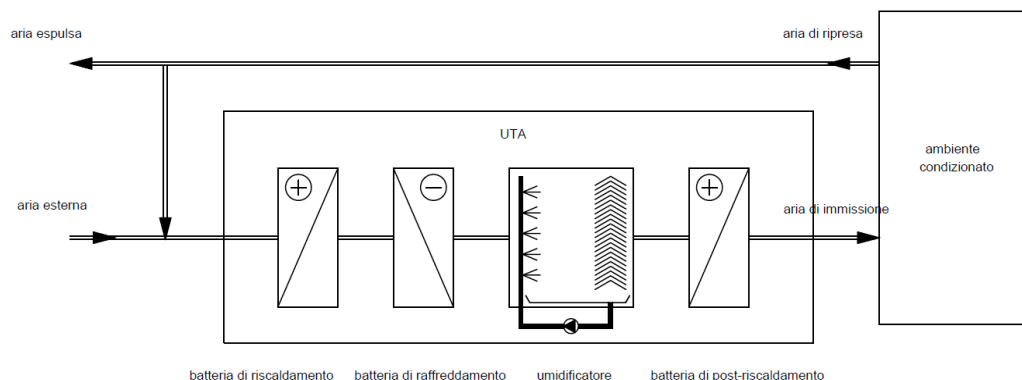
- gruppo frigo ad assorbimento ad acqua-bromuro di litio;
- torre evaporativa a circuito aperto per dissipazione del calore di processo del gruppo frigo;
- dissipatore di emergenza a circuito chiuso per dissipazione del calore di processo del gruppo frigo;
- caldaia integrativa a gas metano ad alta temperatura;
- scambiatori di calore a piastre del tipo apribili installati per separare il circuito solare ed il circuito caldaia integrativa dal termodotto;
- elettropompe a portata variabile comandate da inverter installati a bordo;
- campo solare realizzato mediante pannelli solari termici a tubi evacuati;
- serbatoi di accumulo dell'acqua calda prodotta dal campo solare e dell'acqua refrigerata prodotta dal gruppo frigo;
- sonde di temperatura a immersione, contatermie, elettrovalvole di regolazione, quadro elettrico di potenza e controllo;
- sistema di acquisizione, controllo di gestione dell'impianto di solar heating and cooling;
- pannelli radianti a pavimento installati al piano terra e al primo piano dell'edificio;
- ventilconvettori del tipo a cassette installati a soffitto del piano terra e del primo piano, comandati da inverter e gestiti in funzione del raggiungimento della temperatura ambiente impostata;
- ventilconvettori del tipo a pavimento, installati a servizio del piano interrato.

Unità trattamento aria U.T.A.

L'unità trattamento aria (UTA), è un impianto per il trattamento dell'aria negli ambienti chiusi.

Solitamente è composta da una batteria di scambio termico ad acqua refrigerata (nel quale l'evaporazione avviene nell'evaporatore della macchina frigorifera) e ad acqua calda, sia per il raffreddamento che per il riscaldamento, o da una batteria ad espansione diretta nel cui interno circola il gas refrigerante e l'evaporazione avviene nella batteria stessa.

Attraverso l'Unità di trattamento aria (UTA) si realizzano i trattamenti necessari affinché l'aria sia portata alle condizioni di temperatura e umidità richieste per la successiva immissione in ambiente.



Schematizzazione Sistema UTA con aria di ricircolo

Descrizione componenti:

I **ventilatori** hanno la funzione di fornire all'aria la prevalenza necessaria per vincere le perdite di carico distribuite e concentrate dell'impianto.

Si tratta in genere di ventilatori centrifughi a velocità variabile alimentati elettricamente.

Nell'UTA possono essere presenti due ventilatori:

- ventilatore di aspirazione/espulsione aria, ha la funzione di espulsione/ricircolo dell'aria estratta dagli ambienti climatizzati;
- ventilatore di mandata aria, ha la funzione di presa dell'aria esterna e di mandata dell'aria trattata agli ambienti climatizzati.

Qualora l'impianto di climatizzazione non preveda il ricircolo (ad es. nel caso di impianti misti aria-acqua), nell'UTA è presente il solo ventilatore di mandata e la ripresa dell'aria può essere realizzata mediante estrattori localizzati in ambiente o mediante canalizzazione dell'aria di espulsione e ventilatore centralizzato.

Quando il ventilatore funziona a velocità elevate crea problemi legati a rumorosità, perdite di carico e getti di aria indesiderata.

- Le **batterie di riscaldamento e di raffreddamento** sono costituite da scambiatori di calore a fascio tubiero alettato aria/acqua.

Le batterie di riscaldamento e post-riscaldamento sono collegate alla centrale termica (circuito acqua calda), mentre la batteria di raffreddamento alla centrale frigorifera (circuito acqua fredda). La batteria di raffreddamento può essere anche percorsa direttamente dal fluido refrigerante in fase di evaporazione. (espansione diretta).

Nel caso in cui si operino trattamenti di raffreddamento e deumidificazione in regime estivo, l'acqua liquida di condensa viene raccolta in vasche e da lì scaricata: il prE0205A037 stabilisce che le vasche di condensa devono avere una pendenza non inferiore a 10 mm/m dall'orizzontale in direzione dell'uscita di scarico. La vasca e lo scarico devono essere progettati per garantire che la portata di acqua possa defluire liberamente in ogni condizione di funzionamento ed anche in caso di arresto del

ventilatore. Lo scarico di una vasca di raccolta deve essere dimensionato in modo da garantire che non sia superata la capacità della vasca e non si abbiano travasamenti.

Il componente di riscaldamento è attivo solo d'inverno e l'aria in uscita da esso risulta essere calda e secca quindi deve poi essere ulteriormente trattata. Il componente di raffreddamento è invece attivo solo d'estate.

Quello di post-riscaldamento permette di raggiungere il giusto compromesso tra temperatura e umidità.

- Gli **umidificatori** hanno lo scopo di aumentare l'umidità specifica dell'aria trattata e possono essere isoentalpici o isotermici.

La sezione di umidificazione è attiva in regime invernale per aumentare il grado igrometrico della portata d'aria trattata a valle della batteria di riscaldamento ed è connessa alla rete idrica.

Nel caso di **umidificazione adiabatica** l'acqua, spruzzata in fase liquida viene nebulizzata all'interno del canale; a valle dell'umidificatore è pertanto presente un separatore di gocce con lo scopo di impedire il trascinarsi di goccioline d'acqua nell'aria di mandata.

Tale componente è generalmente costituito da lamelle metalliche pieghettate, che formano una gimcana per l'aria che le attraversa, ed è dotato di una vasca di raccolta condensa sul fondo.

L'umidificatore può essere a singola o doppia rete di ugelli nebulizzatori, con acqua a perdere o pompa di ricircolo.

L'umidificazione adiabatica può essere realizzata anche mediante un pacco evaporante, ove l'acqua, invece di essere nebulizzata direttamente in aria, va a bagnare un pannello costituito da fogli in cellulosa impregnati di resine ed evapora a contatto con l'aria.

Nel caso di **umidificazione isoterma**, l'umidificatore è costituito da tubi di distribuzione del vapore forati su tutta la lunghezza in modo tale da **immettere il vapore in modo uniforme e garantire una brevissima distanza di assorbimento da parte dell'aria**. Possono anche essere presenti il separatore di gocce e la vasca di raccolta condensa.

A valle del separatore di gocce può anche essere presente il raddrizzatore di filetti fluidi, per ripartire equamente la portata d'aria sulla sezione del condizionatore.

- Nella **sezione di miscela** avviene la miscelazione dell'aria esterna con l'aria di ricircolo attraverso l'azionamento automatico di serrande di regolazione in grado di variare le percentuali di aria di ricircolo e di rinnovo in funzione delle portate richieste dagli ambienti climatizzati, in genere costituite da un telaio e da alette multiple. La sezione della miscela è ovviamente assente nel caso di assenza di ricircolo.

Se nell'UTA sono presenti entrambi i ventilatori di ripresa e mandata, la camera di miscelazione (ed espulsione) è costituita da tre serrande, rispettivamente sull'aria di espulsione, di ricircolo ed esterna.

- I **filtri** hanno la funzione di trattenere i contaminanti presenti nell'aria per salvaguardare le apparecchiature poste all'interno dell'UTA ed assicurare la qualità dell'aria inviata agli ambienti.

La filtrazione deve essere effettuata sia sull'aria esterna sia sull'aria di ricircolo, per cui la sezione di filtrazione è normalmente a valle della sezione di miscelazione.

Nel caso in cui la sezione filtrante sia costituita da più filtri, l'ordine di posizionamento è dalla classe di efficienza più bassa a quella più alta.

Può essere prevista una sezione di filtrazione anche sull'aria di espulsione (o sull'aria di ripresa), qualora vi siano obblighi derivanti da leggi e regolamenti o comunque il progettista ne ravvisi la necessità in funzione dei contaminanti presenti nell'aria di espulsione. Il filtro sull'aria espulsa deve essere posto a monte del ventilatore di espulsione.

- Nel caso sia presente il **recuperatore di calore**, esso è posto tra l'aria di espulsione e l'aria di rinnovo. In assenza di ricircolo, deve comunque essere presente la canalizzazione dell'aria di espulsione con ventilatore centralizzato posto nell'UTA.

3.7 Criteri per le scelte degli impianti rispetto agli edifici

Per quanto riguarda le scelte degli impianti occorre tener conto del rapporto edificio-impianto.

Ad esempio, nel caso in cui si vogliano scaldare più zone dell'abitazione a temperature diverse, con la tecnologia geotermica di tipo suolo/suolo è possibile utilizzare più di un compressore, a seconda delle differenti destinazioni d'uso; impiegando un sistema ad espansione diretta si può ottenere il massimo rendimento con una superficie di captazione ridotta. Nella soluzione acqua-acqua il calore viene trasmesso attraverso un circuito idraulico (acqua glicolata nei sensori esterni, acqua nel pavimento radiante); rispetto alla superficie richiesta dal sistema a espansione diretta, la superficie prevista per tale sistema è superiore.

Mentre utilizzando la soluzione suolo-acqua, con la tecnologia mista come quella "acqua glicolata-acqua" è possibile sfruttare la rete di radiatori già esistente. Tali tecnologie sono state descritte in precedenza nel capitolo 3.2 Geotermia e fonti e pompe di calore che sfruttano bacini d'acqua.

Nella scelta tra le varie tecnologie bisognerà tenere conto del contesto territoriale degli edifici, anche allo scopo di fruttare le fonti energetiche disponibili, in modo da scegliere la migliore soluzione tecnologica per gli impianti, ottimizzando gli spazi disponibili, e per tenere nella dovuta

Tra gli altri elementi occorre per esempio conoscere:

- l'esposizione solare e ventosità del sito, anche in rapporto agli edifici e alle schermature esistenti
- i vincoli ambientali
- l'interesse ambientale
- l'assetto geomorfologico
- il rischio geomorfologico
- le macrotipologie di aree verdi

Per esempio per quanto riguarda il caso di studio dei forti (Cap. 7) si sono riscontrate in particolare le seguenti criticità:

- vincoli idrogeologici
- interesse paesaggistico e mineralogico
- scarsa raggiungibilità ed agibilità (in molti casi sono disponibili soltanto strade pedonali, mattonate, sterrate)

Altri criteri di scelta:

- Nel caso di scelta di utilizzo di biomasse per la combustione si richiede un'accurata pianificazione per la sostituzione delle piante tagliate con piante aventi ciclo di ricrescita adatto, la rotazione dei terreni, l'adattamento delle infrastrutture viarie per il trasporto (nel caso non si utilizzino piantumazioni locali), lo stoccaggio.
- Nel caso di utilizzo della **pompa di calore** per il riscaldamento invernale bisogna verificare la temperatura, in quanto, non è molto conveniente quando la temperatura esterna scende al di sotto dei 5° C, anche se i dati di targa delle pompe di calore commerciali garantiscono un buon funzionamento anche per temperatura esterna sotto lo zero.
- Se si devono effettuare degli scavi per la realizzazione di **impianti geotermici**, bisognerà verificare il rischio idrogeologico e l'impatto in fase di realizzazione.
- Per l'installazione di **pannelli solari** occorrerà prima verificare la disponibilità delle aree limitrofe ai Forti, ben esposte al soleggiamento e rispettando i vincoli ambientali e paesaggistici.
- Si può valutare l'utilizzo di sistemi di **cogenerazione/trigenerazione**, con particolare attenzione alle soluzioni che riguardano aree molto vaste, che offrano l'opportunità di teleriscaldamento/teleraffrescamento. La particolare orografia del territorio montuoso sul quale sono collocati i forti, in molti casi non consente l'utilizzo di tale soluzione, salvo quando il singolo sito sia particolarmente ampio ed articolato nelle strutture edilizie (come nel caso di Forte Begato).

In seguito alle considerazioni effettuate, si confrontano le possibili soluzioni con le fonti disponibili e si valutano le ipotesi più convenienti.

Si ipotizza pertanto un indice che evidenzia le disponibilità delle fonti nelle aree disponibili, che potrà indirizzare il confronto tra gli scenari ipotizzati di possibili soluzioni e vincoli fissi.

La pianificazione sostenibile per l'edilizia dei forti deve riferirsi all'impiego di tecnologie bioclimatiche ed ecocompatibili.

- L'applicazione di soluzioni di Architettura bioclimatica per il contenimento dei consumi energetici (isolamento degli involucri degli edifici, controllo delle correnti d'aria invernali), per il riscaldamento solare passivo e attivo, raffrescamento passivo, illuminazione naturale.
- La realizzazione di impianti di produzione energetica da fonti rinnovabili, con particolare riferimento alla microgenerazione distribuita.

Il riscaldamento geotermico permette di definire delle "zone di comfort", tenendo conto della destinazione d'uso delle diverse stanze secondo lo stile di vita delle utenze.

A seconda della soluzione tecnologica adottata vi sono diverse possibilità di regolazione della temperatura.

A seconda della tipologia scelta (pannelli radianti, radiatori etc.) infatti, cambia la T operabile (temperatura di esercizio). Occorre inoltre nel dimensionamento dei disperdimenti di calore, che possono essere alti se la zona non è ben isolata.

Per quanto riguarda la rete di distribuzione, il sistema a collettori complanari si presta particolarmente agli edifici di nuova costruzione o alle ristrutturazioni qualora vengano rifatti

i pavimenti, grazie all'impiego di tubi in rame o plastica di rapida messa in opera.

Il sistema a collettori monotubo invece si presta particolarmente nelle ristrutturazioni di vecchi edifici, in quanto la tubazione che alimenta i corpi scaldanti può essere fatta passare sotto battiscopa, limitando in tal modo interventi sui pavimenti di valore artistico.

Nel sistema a espansione diretta, il compressore restituisce una potenza appositamente regolata per ciascuna stanza, in modo da garantire la temperatura prescelta.

Nei sistemi a distribuzione idraulica invece, è possibile regolare la portata dell'acqua circolante nei pavimenti radianti.

Nella distribuzione in serie varia la temperatura dei terminali. È il sistema più economico ha un singolo tubo per ciascun terminale, mentre l'altra soluzione necessita invece di 2 tubi per ognuno.

Inizialmente si individuano le stanze soggette a maggiore dispersione, facendo particolare attenzione a quelle rivolte verso nord, si possono così aumentare numero dei tubi radianti durante l'installazione dell'impianto, al fine di trasferirvi più calore.

Il pavimento radiante a bassa temperatura rappresenta la miglior soluzione per una distribuzione uniforme del calore; se l'aria non è mai secca si crea un ambiente più sano durante l'inverno e i pavimenti non sono mai freddi. I pannelli radianti a pavimento infatti influiscono positivamente sul comfort termico, in quanto l'uomo sta bene quando i piedi sono a una temperatura calda e la testa a una temperatura fredda. Al fine del raggiungimento del comfort termico deve essere comunque garantita una percentuale di umidità minima.

Gli ambienti interni non presentano gli ingombri dei radiatori, per di più la produzione dell'acqua calda sanitaria può essere prodotta senza costi aggiuntivi, sfruttando l'elevata temperatura del fluido frigorigeno in uscita dal compressore, attraverso uno scambiatore di calore posto all'interno di un serbatoio di ACS.

I pannelli radianti per contro sopperiscono al fabbisogno termico con una superficie maggiore dei terminali; non si possono collocare in aree montane perché hanno più inerzia termica e occorre più tempo per far andare l'impianto a regime.

Se però si utilizzano pavimenti radianti di spessore ridotto e bassa inerzia termica si possono raggiungere le temperature ambiente prefissate in breve tempo.

I **pannelli radianti** a bassa temperatura funzionano bene con la pompa di calore e con le caldaie a condensazione.

Nel caso di edifici con ambienti molto alti, come gli edifici storici, i pannelli radianti a pavimento costituiscono una soluzione ottimale, in quanto hanno un rendimento maggiore, dovuto al fenomeno fisico di propagazione del calore verso l'alto e dall'assenza di stratificazione dell'aria. Il pavimento sopraelevato, che propone diverse soluzioni tra cui il sistema radiante, consente di conservare i pavimenti di particolare pregio artistico di alcuni edifici storici.

Per quanto riguarda gli edifici di tipo tradizionale in muratura di pietra, è consigliato l'impiego di impianti a bassa temperatura, in quanto variazioni eccessive della temperatura potrebbero causare delle fratture della muratura.

In presenza di un bacino d'acqua abbastanza capiente è possibile sfruttarlo come volano termico estivo e invernale della pompa di calore.

Nel caso si scelga di utilizzare la geotermia è necessario valutare l'area a disposizione e chiedere l'autorizzazione alla soprintendenza nel caso in cui si tratti di patrimonio storico.

Come già detto descrivendo gli SCHOYS, i proprietari di casa non vogliono comprare i componenti separati, come i collettori solari, i serbatoi d'acqua, le caldaie di riserva e altra apparecchiatura. Loro vogliono comprare un'unica soluzione per l'acqua calda sanitaria (ACS) e riscaldamento (Combi systems).

Come precedentemente discusso parlando della Solar Active House (SAH, capitolo 1 [2]), il solare termico ha una grossa opportunità di contribuire in maniera significativa al riscaldamento degli spazi, grazie ad un incremento della frazione solare per edificio.

In un'ottica di integrazione edificio-impianto, lo sviluppo degli SCHOYS deve seguire gli obiettivi delle SAH, ossia la riduzione del costo di riscaldamento solare con frazione di più del 60% e di sviluppo di case solari come soluzioni competitive per edifici a energia zero.

Simulazione dinamica degli edifici

Esiste una forte integrazione involucro-impianto, ad esempio con sistemi impiantistici complessi che integrano sistemi di captazione e trasformazione di energie rinnovabili.

Per quanto riguarda gli impianti di climatizzazione, in un lontano passato i progettisti, che ben conoscevano i metodi di calcolo da utilizzare per il dimensionamento dei sistemi e dei componenti basati sul calcolo in regime stazionario riferito alla convenzionale "temperatura esterna di progetto" per il riscaldamento e sul calcolo del profilo giornaliero del carico termico nel giorno estivo più critico per il condizionamento dell'aria, non avevano a disposizione nessuno strumento di calcolo utile per simulare il comportamento dei sistemi impiantistici al di fuori delle condizioni di progetto, cioè in condizioni di carico termico di picco (misurato in unità di potenza, watt).

Un'altra incognita era poi costituita dal fabbisogno termoeconomico dell'edificio (misurato in joule): per la climatizzazione invernale la stima veniva effettuata con il metodo dei gradi giorno, tenendo grossolanamente conto di apporti gratuiti e inerzia termica della costruzione in caso di funzionamento intermittente dell'impianto; il fabbisogno per la climatizzazione estiva era invece del tutto ignorato, in quanto non si era in grado di calcolarlo.

Con un programma di simulazione termoeconomica dinamica, descritta nel capitolo 5 è oggi possibile valutare gli effetti dell'orientamento dell'edificio e/o della distribuzione delle sue masse termiche, i vantaggi ottenibili adottando involucri edilizi a prestazioni variabili in termini di isolamento termico e di schermatura solare, gli esiti dell'installazione di un impianto a tutt'aria piuttosto che di un impianto misto con aria primaria e pannelli radianti, le prestazioni di sistemi energetici alimentati da fonti energetiche rinnovabili, ecc.

Si riescono ad ottimizzare le prestazioni edificio-impianto valutando oggettivamente l'impatto di ogni singola scelta attraverso un processo iterativo; ciò può essere fatto già nelle fasi preliminari della progettazione, quando si fanno le scelte che avranno maggiore ricaduta sulle prestazioni dell'edificio e sui suoi costi di investimento e di esercizio.

Attraverso l'utilizzo di questi programmi di simulazione è infatti possibile ottimizzare delle soluzioni di progettazione o ristrutturazione degli edifici e degli impianti in considerazione di diversi aspetti, nonché programmare una gestione dell'impianto attraverso la definizione di set-point e adeguate strategie.

3.8 Monitoraggio

Il monitoraggio dell'impianto viene effettuato per valutarne le prestazioni, rispetto al progetto ed i miglioramenti apportabili.

Attraverso una corretta manutenzione e gestione degli impianti è possibile infatti ottenere l'ottimizzazione termodinamica, termoeconomica e ambientale relativa alla produzione energetica.

Durante il funzionamento di un sistema è possibile infatti identificare il punto di esercizio ottimale in condizioni tecniche e economiche specifiche e il controllo ottimale, cioè la determinazione del percorso ottimale durante i transitori.

Nel caso di molti sistemi disponibili per servire determinati carichi, l'ottimizzazione può essere nuovamente applicata per:

- a) determinare quali sistemi devono essere azionati ed a quale carico in determinate condizioni,
- b) pianificare in tempo l'operazione e la manutenzione di ciascun sistema.

3.8.1 Componenti per la regolazione e il controllo dell'impianto

Valvole di regolazione: miscelatrici o deviatrici

Negli impianti di termoregolazione/termostazione, vengono spesso utilizzate valvole a tre vie per poter effettuare una regolazione fine della temperatura, andando ad agire sulla portata del fluido di servizio.

Le valvole a tre vie possono essere utilizzate in due modi distinti:

- Deviazione
- Miscelazione

Le prestazioni del sistema dipendono fortemente dal sistema di controllo delle temperature del fluido e la capacità di controllo delle temperature di uscita, dalle dimensioni dei circuiti idraulici e dalla caratteristiche degli scambiatori di calore.

In diverse condizioni le basse temperature le basse portate nei transitori (anche possibili colpi di ariete) possono o provocare l'inefficienza del sistema.

Questo fenomeno è più rilevante alle basse portate e può essere risolto con un miglioramento del monitoraggio.

Questi scenari saranno oggetto di successive e più approfondite analisi.

Sensori, trasduttori, attuatori

Di seguito vengono descritti i componenti per il monitoraggio degli impianti. Il monitoraggio del progetto pilota per il PalaCus viene in seguito descritto nel capitolo 6.

Trasduttore: (dal latino *transducere* = condurre attraverso) è un dispositivo fisico progettato per realizzare un legame tra grandezze appartenenti a sistemi energetici diversi (per natura e/o livelli di potenza in gioco).

Esempi:

- trasduttore temperatura-tensione;
- trasduttore energia termica-energia elettrica.

N.B.: Il legame che si realizza è orientato, si individuano cioè ingresso ed uscita.

Sensore: trasduttore (di segnale) utilizzato per misurare le condizioni operative del processo.

Grandezza in ingresso: energia nel dominio fisico di interesse.

Grandezza in uscita: segnale nel dominio fisico dell'unità di controllo.

Attuatore: trasduttore utilizzato per trasformare un segnale di comando (bassa potenza) in azione sul processo (tipicamente a elevata potenza). Ha quindi una funzione complementare a quella del sensore.

Grandezza in ingresso: segnale nel dominio fisico dell'unità di controllo.

Grandezza in uscita: energia nel dominio fisico della grandezza di comando.

Sono spesso realizzati come cascata di più trasduttori, di cui il primo di segnale.

Pirometro: si tratta di un trasduttore elettrico ad infrarossi che si fonda sulla trasmissione del calore per radiazione elettromagnetica e sulla *legge di Plank* che la regola. Teoricamente questo sensore dovrebbe misurare la temperatura quando tutta la radiazione termica della sorgente colpisce il dispositivo, in realtà il pirometro non funziona per tutte le lunghezze d'onda, poiché le lenti o gli specchi utilizzati per focalizzare la radiazione sul sensore costituiscono dei veri e propri filtri ottici.

Questi materiali, infatti, sono generalmente opachi per onde lunghe e onde corte, ma sono trasparenti nel visibile e nel vicino infrarosso, per cui la legge di Plank non viene integrata su tutte le lunghezze d'onda. Il pirometro produce una risposta approssimativamente proporzionale a T^4 ed è pertanto inerentemente non lineare. E' un sensore non invasivo, costoso e molto stabile che permette di misurare anche temperature elevate; la sua sensibilità è più accentuata alle alte temperature che non alle basse. E' usato per temperature anche superiori ai 1450 °C dove altri sensori hanno vita breve ed è utile anche nel controllo di processi la cui temperatura varia da 200-1450 °C ed in cui è essenziale la mancanza di contatto con il sistema.

Termistori: sono dei trasduttori elettrici che sfruttano le proprietà dei semiconduttori di variare la conducibilità elettrica con la temperatura. I termistori (*Thermal Resistor*) possono avere coefficienti di temperatura (TCR) negativi (*termistori NTC*) o positivi (*termistori PTC*). La loro sensibilità si riduce notevolmente al crescere della temperatura.

Tipicamente sono solo i termistori NTC quelli utilizzati per la misura di temperatura, sono molto più sensibili degli RTD (da 10^3 a 10^6 volte) e funzionano in un range di temperature che va da -100 a 500 °C circa. Presentano una impedenza molto elevata e non richiedono particolari procedure di misura (collegamento a 2 fili). Purtroppo sono fortemente non lineari.

Sensori integrati: sono trasduttori che utilizzano le proprietà delle giunzioni a semiconduttore (diodi e transistor) di avere la tensione o la corrente fortemente dipendente dalla temperatura; questa dipendenza è peraltro notevolmente lineare.

In questo modo si realizzano sensori di temperatura lineari con uscita in tensione o in corrente, poco costosi ed accurati, ma che funzionano in un range di temperatura limitato (da -65 a 150 °C circa).

Termocoppie: sono trasduttori che utilizzano le proprietà termoelettriche derivanti dall'accoppiamento di due conduttori dissimili posti a temperature diverse; il loro funzionamento è basato sull'*effetto Seebeck*, secondo cui la tensione al giunto freddo è proporzionale alla differenza di temperatura fra le due giunzioni. Purtroppo la *dipendenza non lineare* del coefficiente di Seebeck dalla temperatura finisce per inficiare la relazione di "linearità" fra temperatura e tensione.

La realizzazione e l'uso delle termocoppie presenta in pratica due problemi fondamentali:

- la necessità di inserire il blocco di condizionamento e misura della tensione risultante (e quindi delle ulteriori giunzioni) senza alterare il risultato;
- la necessità durante la misura di mantenere la temperatura del giunto freddo ad un valore costante e noto.

L'utilizzo delle termocoppie è indicato per l'ampio range di temperatura misurabile e per la loro notevole resistenza meccanica. D'altronde la possibilità di ricorrere ad un numero elevato di metalli permette il loro uso in ambienti ostili.

Misuratori di portata

Nel caso in cui venga installata soltanto l'unità di misura di portata (no temperatura) a impulsi, il dato visualizzato potrà essere sia di portata (se l'acquisizione dispone di un misuratore di frequenza, per misurare gli impulsi al minuto) sia di volume elaborato (solo conta impulsi).

La gestione delle unità di misura del display va quindi adeguata alle modalità dell'acquisizione del dato.

3.9 L'impatto ambientale degli impianti di climatizzazione

Il problema ambientale degli impianti di climatizzazione riguarda principalmente l'utilizzo, da parte di questi, dei fluidi frigoriferi, che hanno un elevato potere inquinante, qualora, per qualsiasi ragione, vengano dispersi.

Produzione di anidride carbonica negli impianti elettrotermodinamici

Sia nella macchine frigorifere che nelle pompe di calore, l'emissione di fluidi frigoriferi non è l'unica causa dell'effetto serra. Bisogna tenere conto anche della produzione di anidride carbonica che scaturisce dal processo di combustione per la produzione della corrente elettrica che alimenta il compressore di una pompa di calore. Si devono fare adeguate considerazioni per pesare correttamente sia l'effetto di produzione di CO₂ diretto che quello indiretto.

Il punto di forza nell'utilizzo di una pompa di calore con compressore elettrico sta nel fatto che, nonostante si abbia una certa produzione di anidride carbonica da parte della centrale termica da cui si preleva la corrente, si sfrutterà anche il calore gratuito e pulito della sorgente fredda all'evaporatore.

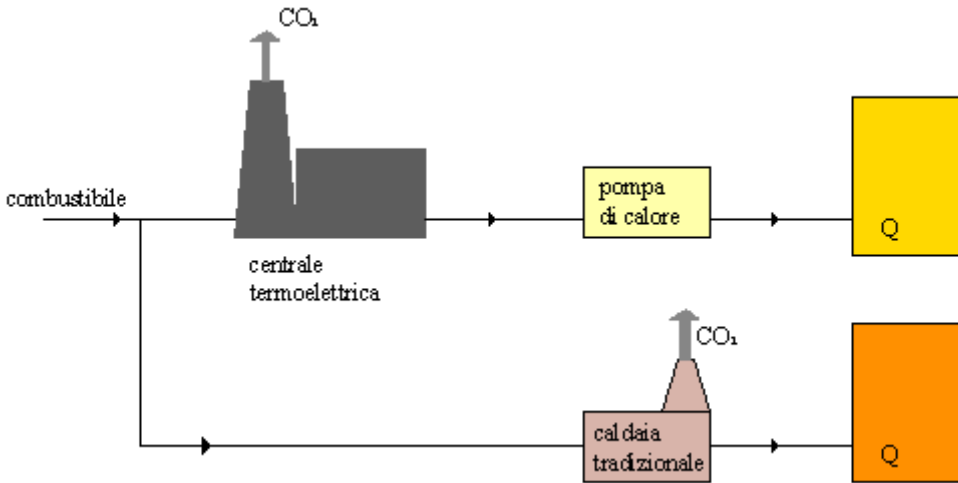


Fig. 3.11 - Impatto ambientale: pompa di calore e caldaia tradizionale a confronto

Se la pompa di calore dispone di un buon coefficiente di prestazione, consumerà, senz'altro, meno combustibile di un impianto di riscaldamento tradizionale, con una conseguente minore produzione di anidride carbonica.

Confrontando, ad esempio, un sistema a pompa di calore con una caldaia tradizionale, a parità del fabbisogno di calore Q e supponendo che il potere calorifico del combustibile che alimenta la caldaia sia uguale a quello che alimenta la centrale termoelettrica, vale in prima approssimazione:

$$COP \cdot \dot{M}_{CE} \cdot H_i \cdot \eta_{CE} = \dot{M}_{CT} \cdot H_i \cdot \eta_{CT} \Rightarrow COP \cdot \eta_{CE} \cdot \dot{M}_{CE} = \dot{M}_{CT} \cdot \eta_{CT}$$

dove:

COP = coefficient of performance della pompa di calore

\dot{M}_{CE} = portata massica di combustibile nella centrale elettrica [kg/s];

\dot{M}_{CT} = portata massica di combustibile nella caldaia tradizionale [kg/s];

H_i = potere calorifico inferiore del combustibile [J/kg];

η_{CE} = rendimento totale della centrale elettrica;

η_{CT} = rendimento totale della caldaia tradizionale;

Supponendo, approssimativamente, che entrambe le catene energetiche abbiano una produzione di anidride carbonica proporzionale alla quantità di combustibile consumato, si ottiene:

$$COP \left(\dot{M}_{CO_2} \right)_{PC} \eta_{CE} = \left(\dot{M}_{CO_2} \right)_{CT} \eta_{CT} \Rightarrow \frac{\left(\dot{M}_{CO_2} \right)_{PC}}{\left(\dot{M}_{CO_2} \right)_{CT}} = \frac{\eta_{CT}}{COP \eta_{CE}}$$

Che è un valore senz'altro minore di 1, essendo il COP maggiore di 1 ed i rendimenti compresi tra 0 ed 1.

Questo dimostra come la produzione di CO_2 indiretta di una pompa di calore sia inferiore rispetto a quella di una caldaia tradizionale.

Bibliografia

- [1] www.heliotechnology.info
- [2] Z. Wang, P. Guo, H. Zhang, W. Yang, and S. Mei, Comprehensive review on the development of SAHP for domestic hot water, *Renew. Sustain. Energy Rev.* (2017) 72 871. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.127>
- [3] G. Stryi-Hipp, W. Weiss, D. Mugnier and P. Dias, RHC Renewable Heating and Cooling European Technology Platform Strategic Research Priorities for Solar Thermal Technology European Solar Thermal Technology Panel (ESTTP) of the European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling (RHC-Platform) (2012), Brussels, www.rhc-platform.org.
- [4] C. Rossi, L. A. Tagliafico, F. Scarpa and V. Bianco, Experimental and numerical results from hybrid retrofitted photovoltaic panels, *Energy Conv. Manag.* (2013) 76 634.
- [5] T. Zang, G. Pei and Q. Zhu Ji J., Experimental study of a novel photovoltaic solar-assisted heat-pump/loop heat pipe (PV-SAHP/LHP) system, *IOP Conference Series* (2017): Earth and Environmental Science 52.
- [6] G.V. Fracastoro, *Fonti rinnovabili, Solare termico*
- [7] Cucumo, Marinelli, Oliveti, *Ingegneria solare- Principi e applicazioni*, Pitagora, Bologna 1994
- [8] Corrado, Gemelli, Micangeli, *Applicazioni e potenzialità dei sistemi solari termici*, ISES Italia, 2001
- [9] Duffie, Beckman, *Solar Engineering of thermal processes*, Wiley & sons, New York, 1991
- [10] Magrini, Ena, *Tecnologie solari attive e passive*, EPC Libri, Roma, 2002.
- [11] S. Bergero, A. Chiari, *Appunti di Termoidrometria e Impianti*, ARACNE, Roma 2015.
- [12] E. Repetto, *Sistemi di monitoraggio per impianti di climatizzazione elettrotermodinamici ed analisi dei dati sperimentali acquisiti*, Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica, Università degli Studi di Genova, 2002.
- [13] N. Calabrese, G. Oliveti, V. Marinelli, R. Mastrullo, A. W. Mauro, *Messa in funzione, analisi sperimentale e caratterizzazione della pompa di calore a CO₂*, Report RdS/2012/123, ENEA Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (2012), Roma, Italia.

4 ISOLAMENTO TERMICO

In questo capitolo viene affrontato l'isolamento termico e i vari tipi di isolamento: isolamento interno e esterno con materiali di tipo tradizionale (lana di roccia, lana di vetro, polistirene), l'isolamento con aerogel e l'isolamento con materiali a cambiamento di fase (PCM), delineando altresì una possibile linea di ricerca.

4.1 Generalità dell'isolamento termico

Diversi studi (Verbeeck and Hens 2004, Enkvist et al. 2007, Energy Efficiency Watch Final Report 2013) hanno dimostrato che il modo più efficace per ridurre il consumo di energia nel settore edile (sia nei nuovi edifici che in quelli esistenti) rimane la riduzione delle dispersioni termiche migliorando l'isolamento dell'involucro dell'edificio. Un passo oltre l'attuale rendimento termico dell'involucro dell'edificio è essenziale per realizzare la riduzione energetica prevista negli edifici.

Secondo Cardiergues (1986), un muro ben isolato riduce le dispersioni termiche all'esterno durante la stagione di riscaldamento e riduce gli apporti termici solari durante il giorno nella stagione calda.

Esso inoltre previene la condensa nel muro evitando le temperature troppo basse. Inoltre, migliora il comfort termico evitando le sensazioni termiche troppo alte o troppo basse in prossimità del muro dovute allo scambio radiativo.

Dall'altro lato, un muro ben isolato può portare al surriscaldamento in estati calde dove la radiazione solare assorbita durante il giorno (entrante attraverso le finestre) può essere intrappolata dentro, senza poter essere rilasciata all'esterno.

La posizione dell'isolante termico gioca un ruolo importante nel comportamento termico dinamico dei muri esterni. Esistono diversi tipi di isolamento:

- sulla superficie esterna del muro
- sulla superficie interna del muro
- in mezzo al muro
- distribuito all'interno della struttura del muro

In genere i materiali isolanti non sono densi; cosicché non possono immagazzinare una grande quantità di calore per unità di volume. Tsilingiris (2006) [1] ha dimostrato che per gli spazi condizionati a intermittenza, l'isolamento ha una prestazione migliore quando viene installato sul lato interno del muro.

A causa della sua bassa capacità termica, quando inizia il ciclo di riscaldamento, c'è un rapido incremento della temperatura della stanza fino al livello impostato sul termostato. Al contrario, Kossecka e Kosny (1998) [2] dimostrarono che per il riscaldamento o il raffrescamento continuo, la migliore soluzione dal punto di vista energetico è posizionare l'isolamento sulla superficie esterna del muro.

I materiali utilizzati per l'isolamento termico ritardano la portata del flusso di calore per conduzione, convezione e irraggiamento. Essi riducono la trasmittanza termica (valore U) e quindi la dispersione termica attraverso la parete (Walker R., Pavia S., 2015).

Ci sono diversi tipi di isolamento e più classificazioni dei materiali termoisolanti.

Una classificazione basata sull'origine della materia prima che compone la maggiore percentuale del materiale li divide in cinque categorie: vegetali, fossili, minerali, animali o riciclati.

I materiali isolanti possono essere ordinati anche per tipo macrostrutturale: fibroso, compatto o granuloso (Benedetti C., 2012).

Gli sviluppi recenti hanno permesso la diffusione di nuovi materiali isolanti, come i materiali a cambiamento di fase (PCM) e l'isolamento termico riflettente multistrato.

I PCM (Phase Change Material), passano dallo stato solido allo stato liquido, accumulando e rilasciando energia termica. Così, contribuiscono a regolare gli scambi termici attraverso i componenti dell'involucro.

Nel seguito (punto 4.4) viene descritto un innovativo materiale a base di aerogel e vengono spiegate le sue qualità anche per quanto riguarda l'isolamento termico degli edifici storici.

4.2 Inerzia termica degli edifici

Prestazione energetica dell'involucro nella normativa DPR 59/09

Una nuova fase per l'efficienza energetica degli edifici e per la pianificazione urbanistica dell'Italia si è aperta il 10 giugno 2009 con la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale, 2 aprile 2009, n. 59: "*Regolamento di attuazione dell'art. 4, comma 1, lett. a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente l'attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*". Il DPR 59/2009 di fatto ha reso obbligatori la maggior parte dei requisiti minimi transitori previsti dall'Allegato I del D.Lgs 192/2005 e sue modifiche, con alcune novità.

Per quanto riguarda le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici l'art. 3 definisce che si debbano adottare le norme tecniche nazionali, definite nel contesto delle norme EN a supporto della direttiva 2002/91/CE, della serie UNI/TS 11300 e loro successive modificazioni

L'art. 4, nel definire i Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici ed impianti, conferma molti aspetti della precedente normativa (l'Allegato I del decreto 192/2005). Resta pertanto obbligatoria la verifica dell'indice di prestazione per la climatizzazione invernale, e viene mantenuta la procedura semplificata nel caso di edifici con rapporto tra superficie trasparente e superficie utile dell'edificio minore di 0,18.

A differenza delle precedenti normative però in cui ci si riferiva alla sola necessità di ridurre il fabbisogno energetico dovuto alle richieste termiche invernali, il nuovo decreto pone l'attenzione anche alle prestazioni dell'edificio atte a garantire un adeguato comfort termico in regime estivo. A tal fine viene introdotta la verifica sul valore dell'indice di prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio ($EP_{e,inv}$).

Oltre all' $EP_{e,inv}$ è introdotto un ulteriore limite al comportamento dell'involucro in regime estivo, attraverso l'introduzione della trasmittanza termica periodica Y_{IE} ($W/m^2 K$): *“parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la UNI EN 13786”*. Per il rispetto dei limiti imposti alla trasmittanza termica periodica Y_{IE} , si può ricorrere a diverse soluzioni tecniche, tra le quali, a titolo d'esempio coperture a verde, strutture massive, materiali a cambiamento di fase.

La trasmittanza periodica citata nella normativa sopra riportata da un'indicazione dello sfasamento e dell'attenuazione del flusso termico nelle 24 ore della giornata.

4.2.1 Sfasamento e smorzamento del flusso termico

Lo sfasamento (fattore di ritardo) è il tempo necessario per far propagare l'onda di calore dalla superficie esterna alla superficie interna della parete e lo smorzamento (fattore di decremento) è il rapporto decrescente della sua ampiezza.

Lo sfasamento è particolarmente accentuato negli edifici storici che hanno una struttura massiva.

In questi edifici occorre tenere conto dello sfasamento e dello smorzamento del flusso termico, in quanto le murature, generalmente spesse, presentano un'elevata inerzia termica. Andrebbe pertanto svolto un apposito studio con un'analisi funzionale, delle diagnosi energetiche, delle termografie, il monitoraggio delle temperature, dell'umidità delle superfici delle pareti e l'installazione di un anemometro.

Bisognerebbe inoltre mediare tra gli aspetti di conservazione, il comfort e l'efficienza energetica.

L'involucro esterno degli edifici è in continua interazione con l'ambiente esterno. Poiché la temperatura dell'aria esterna e la radiazione solare variano nel corso della giornata, la temperatura esterna delle pareti viene notevolmente influenzata, causando fluttuazioni del flusso termico che passa attraverso queste all'interno. Di conseguenza, l'ambiente interno può cambiare significativamente. Pertanto, la progettazione dell'isolamento delle pareti esterne dovrebbe tenere maggiormente in considerazione l'inerzia termica.

Durante la stagione invernale, l'inerzia termica assorbe e accumula il calore in eccesso dovuto alla radiazione solare durante il giorno e lo rilascia in un momento successivo nella notte quando diventa più freddo all'esterno.

Durante le notti estive, quando la temperatura dell'aria esterna è inferiore alla temperatura all'interno dell'edificio, è possibile applicare la ventilazione naturale.

Il miglioramento del comfort termico estivo adottando l'inerzia termica e la ventilazione naturale dipende dal clima. Il contributo dell'inerzia termica varia notevolmente a seconda della natura dei cicli di sollecitazioni esterne a cui è sottoposto l'edificio (Givoni 1994, Roucoult 1999).

Sono state svolte ricerche approfondite sull'ottimizzazione della configurazione degli strati delle pareti esterne. In alcune ricerche sono stati impostati consumi energetici per mantenere la temperatura dell'aria interna ad un certo valore di set-point come parametro di valutazione (Al-Sanea et al. 2011, Ozel 2012, Kossecka and Kosny 2002, Ibrahim et al. 2012, Balocco et al. 2008), mentre altri hanno calcolato lo sfasamento e lo smorzamento (Mavromatidis et al. 2012, Jin et al. 2012, Asan 2000, Kontoleon and Bikas 2007, Kontoleon and Eumorfopoulou 2008, Ulgen 2002). Dagli studi è risultato che in generale il muro migliore, quello con minore

Consumo di energia, è quello avente un basso fattore di smorzamento e uno sfasamento elevato.

La maggior parte degli studi riguardanti l'ottimizzazione della struttura dei muri esterni si è concentrata su un condizionamento/riscaldamento continuo in cui la temperatura dell'aria interna è mantenuta fissa a un determinato valore di set-point.

Asan (2006) [5] ha stimato gli sfasamenti e gli smorzamenti per diversi materiali da costruzione risolvendo numericamente l'equazione di trasferimento di calore monodimensionale utilizzando lo schema Crank-Nicholson e imponendo una condizione al contorno periodica nell'ambiente esterno mantenendo la temperatura ambiente fissa.

Nello studio di Asan sono stati utilizzati tre gruppi di materiali. Il primo aveva una bassa conducibilità termica e una bassa capacità termica, il secondo aveva una elevata conducibilità termica e un'alta capacità termica, e il terzo aveva moderata conducibilità termica e alta capacità termica.

Diversi studi hanno mostrato che collocando lo strato di isolamento sulla superficie esterna del muro fornisce una migliore prestazione termica, rispetto a collocarlo alla superficie interna (Ozel et al. 2007, Al-

Sanea et al. 2003, Al-Sanea et al. 2012, Aste et al. 2009, Vijayalakshmi et al. 2006). Altri studi hanno invece trovato che la configurazione migliore sia posizionare gli strati di isolamento sia sulla superficie interna del muro che su quella esterna (Kossecka and Kosny 2002, Al-Sanea et al. 2011).

Sfasamento e smorzamento del flusso termico attraverso la parete

Lo sfasamento e smorzamento del flusso termico attraverso la parete (Fig. 4.1) sono calcolati come segue:

Sfasamento, $\phi = t_{in,max} - t_{out,max}$ o $\phi = t_{in,min} - t_{out,min}$

Fattore di smorzamento, $f = \frac{A_1}{A_2} = \frac{T_{in,max} - T_{in,min}}{T_{out,max} - T_{out,min}}$

Dove $t_{in,max}$ e $t_{out,max}$ rappresentano l'ora in cui le temperature superficiali interne ed esterne sono al loro massimo, rispettivamente. $t_{in,min}$ e $t_{out,min}$ rappresentano l'ora in cui le temperature superficiali interne ed esterne sono rispettivamente al minimo.

$T_{in,max}$, $T_{in,min}$, $T_{out,max}$ e $T_{out,min}$ sono rispettivamente le temperature superficiali massime e minime della parete interna e le temperature massime e minime della parete esterna.

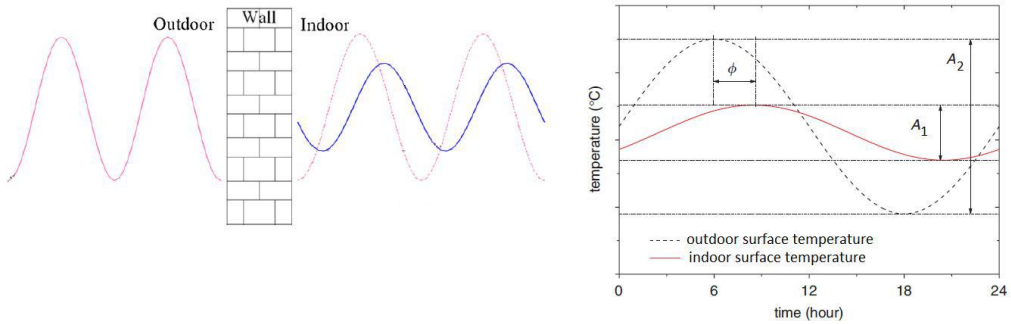


Fig. 4.1 - Sfasamento e smorzamento del flusso termico (Mohamad Ibrahim 2014 [6])

Sono state condotte ricerche approfondite sul flusso termico attraverso la parete e sui fattori di smorzamento e di decremento. La maggior parte delle ricerche ha affrontato questi temi ottimizzando le proprietà e la distribuzione dei diversi strati di materiale nei muri o nei tetti per aumentare lo sfasamento e lo smorzamento ([7], [8], [9], [10], [11], [12]).

Metodo di calcolo dello sfasamento e dello smorzamento

Una temperatura superficie-aria è imposta sulla superficie esterna del muro.

$$T_{\text{sur,air}} = \frac{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}}{2} * \sin\left(\frac{2\pi\tau}{p} - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{t_{\text{max}} + t_{\text{min}}}{2} + t_{\text{min}}$$

La temperatura superficiale che viene imposta, è una temperatura equivalente della temperatura superficiale esterna la quale, in assenza di radiazione solare, darebbe lo stesso flusso di calore attraverso il muro, come quello causato dalla combinazione della temperatura superficiale attuale e della radiazione solare.

Lo smorzamento e lo sfasamento sono calcolati in condizioni di “libera fluttuazione termica” = nessuna temperatura interna imposta. Nell’intervallo di temperatura considerato (-40, +50°C), lo smorzamento e lo sfasamento sono indipendenti dalle condizioni climatiche (le proprietà termiche dei materiali sono considerate costanti).

I coefficienti di scambio globale usati sono quelli della regolazione termica per edifici in Francia (Asan H., Sancaktar Y. S., 1998). I coefficienti di convezione interni e esterni sono rispettivamente:

$$h_{\text{in}}=7.7, h_{\text{ext}}=25$$

4.3 Isolamento interno e esterno con materiali di tipo tradizionale

Gli isolanti termici più utilizzati sono il polistirene espanso (EPS) e la lana di roccia (LM), tutti vengono solitamente sottoposti a dei test di shock termici.

L'isolamento termico può essere applicato, all'interno, all'esterno (isolamento a cappotto), nell'intercapedine (insufflaggio).

Importante ai fini dell'isolamento termico, in particolare nella scelta tra l'isolamento interno e quello esterno è tenere in considerazione che i ponti termici P.T. determinano discontinuità nell'edificio e il conseguente discomfort termico dovuto alla sensazione di freddo.

Se l'isolamento è fatto di materiali traspiranti non serve la barriera al vapore, perché la traspirabilità permette anche lo smaltimento durante i periodi più caldi e asciutti di eventuale condensazione accumulata nei periodi umidi e invernali, garantendo così la salubrità e la funzionalità del sistema.

Inoltre la scelta di specifici materiali può migliorare anche l'acustica, come ad esempio il polistirene elasticizzato.

Le leggi finanziarie predispongono degli incentivi per l'isolamento degli edifici.

L'isolamento termico posto all'esterno viene detto Cappotto, ETICS in inglese e WDWS in tedesco.

Tutti i materiali del cappotto devono essere sempre certificati ETAG 004,.

Per l'installazione dei pannelli si usano colla e tasselli, che devono essere a taglio termico, e mai solo i tasselli. Occorre prestare particolarmente attenzione alla posatura affinché non si formino delle crepe.

Inoltre è importante osservare che il sistema composto di isolamento dall'esterno deve essere idrorepellente, a volte infatti i pannelli sono rivestiti da ulteriore isolante.

Vantaggi dell'utilizzo dell'isolamento esterno

- con l'isolamento esterno si risolvono i problemi causati dai ponti termici, riducendo le perdite di calore
- aumenta il comfort termico aumentando l'inerzia termica vicino all'interno dello spazio abitativo
- conserva la fruizione degli spazi interni
- è possibile condurre il lavoro senza la necessità dello spostamento degli abitanti (per gli edifici esistenti); facilitando così la ristrutturazione
- riduce la possibilità di condensazione
- evita di inquinare l'aria interna a causa dei materiali isolanti utilizzati
- modifica/migliora l'estetica degli edifici (soprattutto quelli vecchi, non conveniente per alcuni edifici con ornamenti o aventi valore storico-artistico)
- miglior posizione termica e igrometrica
- con il cappotto si ha lo sfasamento d'estate.

Svantaggi di utilizzo dell'isolamento esterno

- provoca un problema quando sono presenti balconi e parapetti
- l'elevata inerzia termica interna potrebbe non essere adatta in alcuni casi (riscaldamento/ raffreddamento intermittente)
- devono essere protetti dalle condizioni ambientali esterne
- più difficile da installare rispetto all'isolamento interno
- non può essere utilizzato quando le facciate sono ornate o fanno parte del patrimonio storico-artistico e devono essere conservate
- Il cappotto presenta la caratteristica di essere caldissimo d'estate e freddissimo d'inverno (-10°C te, -15°C tcap).

4.3.1 Isolamento termico per gli edifici storici

Lo spessore degli strati di isolamento diventa un problema importante soprattutto nelle città (Ibrahim M, Biwole P.H., Achard ., Wurtz E., Guillame A., 2015). Inoltre, nel caso in cui si utilizzi un isolamento interno, la scelta del tipo di isolamento dovrebbe portare ad una riduzione minima del volume degli ambienti interni, secondo le norme che prescrivono le altezze minime, le superfici minime e le superfici aeroilluminanti minime degli ambienti residenziali (D.M. 5 luglio 1975), da applicare per gli usi specifici previsti e nel rispetto dei requisiti minimi di accessibilità, visibilità e adattabilità, per la rimozione delle barriere architettoniche (DM 14 giugno 1989).

Nello studio si dovrebbe anche considerare che gli involucri degli edifici storici di solito presentano umidità a causa della capillarità. È pertanto necessario prestare attenzione al tipo di isolamento utilizzato, limitando il più possibile o addirittura eliminando i diversi problemi di umidità riscontrabili nei sistemi di isolamento termico interno.

Raccomandazioni per l'isolamento degli edifici storici

Ogni edificio storico ha diversi aspetti che devono essere analizzati caso per caso (Annoni 1946).

Ne consegue che le misure e le modalità per il miglioramento energetico dell'edilizia storica devono essere studiate analogamente a questo principio.

Tuttavia alcune indicazioni su come intervenire per l'isolamento di questi edifici sono state fornite attraverso alcuni casi di studio su esempi esistenti.

È necessario conservare i dettagli degli edifici storici sia all'interno che all'esterno.

Infatti, molti edifici storici presentano elementi decorativi con un alto valore artistico, in facciate e in interni, come semi-pilastri, falegnamerie, architravi, fregi, cornici, modanature complesse e dettagliate. Ogni tipo di intervento dovrebbe essere limitato il più possibile, rispettando lo spessore di motivi geometrici multipli e decorativi.

4.4 Applicazioni di aerogel a base di silice

Tradizionalmente utilizzato nell'industria aerospaziale, l'aerogel a base di silice è un materiale con molte proprietà particolari, tra le quali la più importante consiste nel suo effetto isolante, presentando un grande vantaggio: un alto rapporto prestazione/spessore.

In questo studio sono stati considerati due diversi tipi di materiali a base di aerogel di silice, uno per l'isolamento interno della muratura, il secondo per l'isolamento esterno.

Nella maggior parte dei casi studiati, il materiale isolante a base di aerogel mostra migliori prestazioni rispetto ad altri materiali isolanti.

Gli aerogel a base di silice sono materiali termoisolanti altamente porosi realizzati in nanoparticelle di silice amorfa (Pierre A. C. Rigacci A., 2011). Tuttavia, gli aerogel puri a base di silice sono fragili, con basso modulo meccanico, che impedisce un uso appropriato nel settore dell'edilizia. Realizzare materiali compositi di aerogel combinando fibre con una miscela pre-gel di un precursore di gel o impregnando una rete di fibre di tale miscela sembra essere un modo promettente per migliorare le proprietà meccaniche di tali materiali. In seguito all'essiccazione, il composto risultante viene chiamato **aerogel blanket**. L'aerogel blanket è rinforzato meccanicamente, è flessibile e ha una conducibilità termica fino a $0,015 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (valore inferiore a quello dell'aria!)

Gli aerogel blankets sono chiamati materiali super isolanti e sono annoverati tra i nuovi materiali termoisolanti ad alte prestazioni per applicazioni edilizie. Le loro prestazioni termiche sono da due a cinque volte migliori dei materiali isolanti convenzionali (ad esempio lana organica, schiume polimeriche ...) ma non sono ancora competitive nel mercato dell'isolamento edilizio.

L'utilizzo di materiali super isolanti è comunque utile per esigenze di isolamento molto specifiche o in aree in cui esso può offrire un vantaggio di costo grazie ad un effettivo risparmio di spazio.

Miscelare granuli di aerogel con malta è un altro modo per utilizzare l'aerogel come un sistema di isolamento termico, come si può vedere in uno studio sulle prestazioni termiche di muri esterni ricoperti con un strato di isolamento a cappotto con aerogel a base di silice, recentemente brevettato [18]. Si tratta di una malta leggera che può essere infatti applicata sulla superficie esterna di un edificio per produrre un rivestimento termicamente isolante a cappotto.

Il cappotto è costituito da un legante idraulico minerale o organico, un isolante riempitivo costituito da granuli di aerogel a base di silice, un riempimento strutturale e alcuni additivi. I granuli di aerogel sostituiscono in qualche modo la sabbia utilizzata nella malta convenzionale.

La malta è preparata industrialmente come una composizione secca mescolando tutti i componenti sopra menzionati e quindi la miscela viene immagazzinata in sacchetti e trasportata al sito per l'uso. Il rivestimento ha una conducibilità termica di $0,027 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ e una densità di 200 kg.m^{-3} alle condizioni ambientali di utilizzo.

Influenza dello spessore sulla quantità di calore dispersa attraverso le pareti

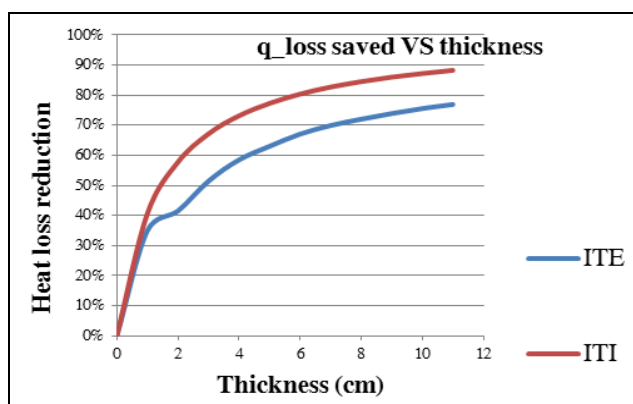


Fig. 4.2 - Riduzione della dispersione termica in funzione dello spessore dell'aerogel

Un criterio che potrebbe essere utile per analizzare il comportamento della struttura dell'edificio è la dispersione di calore attraverso le pareti (in questo caso non viene presa in considerazione l'infiltrazione, la ventilazione di ponti termici, ecc., che rappresenta circa il 45% del consumo di riscaldamento). Nella simulazione viene considerata una temperatura interna costante di 23 °C.

La Figura 4.2 mostra che l'influenza dello spessore sulla quantità di calore dispersa attraverso le pareti non è lineare e che i principali risparmi sono ottenuti grazie ai primi centimetri di isolamento.

D'altra parte, il prezzo dell'isolamento (produzione + installazione) spesso dipende linearmente dallo spessore; va pertanto ricercato uno spessore ottimale che minimizza il costo complessivo (materiale ed energia).

Inoltre, come mostrato nel grafico seguente (Fig. 4.3), l'aerogel ha un comportamento diverso a seconda del tipo di muratura su cui viene applicato. Come si può notare, se l'aerogel viene applicato sulla pietra, come nel caso studio riportato nel capitolo 7, questo porta ad un maggior aumento della riduzione delle dispersioni termiche, rispetto ad altri materiali.

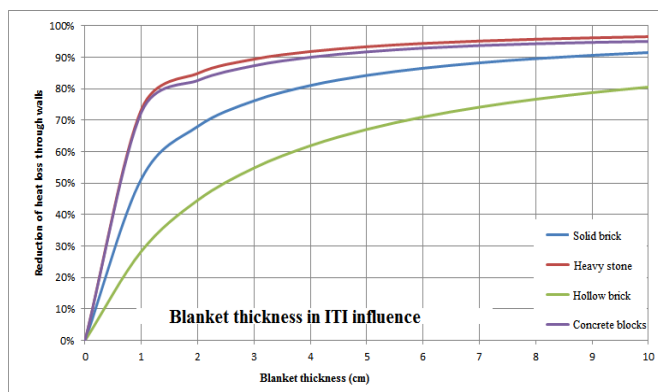


Fig. 4.3 - Spessore dell'aerogel blanket nello studio di influenza dell'isolamento interno sulla riduzione delle dispersioni termiche

4.4.1 Applicazione dell'aerogel su edifici storici

L'aerogel di silice usata come materiale termoisolante può raggiungere un elevato livello di miglioramento energetico senza compromettere i dettagli della costruzione, dettagli che potrebbero essere persi con l'isolamento tradizionale.

Le caratteristiche che rendono l'aerogel di silice un materiale isolante adatto per il retrofit delle costruzioni storiche sono riportate di seguito.

- La **versatilità** di questi materiali consente l'utilizzo sia interno che esterno, con la possibilità di applicare l'aerogel su substrati, costruzioni e composizioni diversi.
- La **lavorabilità** è molto simile a quelle tradizionali, in quanto possono essere utilizzate su supporto non allineato, fuori squadra o addirittura curvo.
- L'aerogel di silice è **flessibile** e può essere utilizzato per qualsiasi soluzione architettonica e di progettazione.
- Lo **spessore ridotto** del materiale consente di mantenere quasi inalterate le dimensioni degli spazi interni.
- Il materiale a base di silice può essere utilizzato per edifici nuovi e per l'adeguamento di quelli esistenti in quanto hanno **un'elevata prestazione isolante** e la loro applicazione è facile, **compatibile con le facciate tradizionali in muratura** e utilizzando le tecniche ordinarie più note [17].

Fortificazioni militari

Nel caso delle fortificazioni storiche di tipo militare, come i Forti di Genova, si ipotizza di intervenire con l'isolamento termico delle pareti interne, al fine di evitare l'impatto sul paesaggio esterno.

In caso di isolamento esterno, si impediscono eventuali ponti termici causati da necessarie ristrutturazioni strutturali.

L'isolamento delle zone d'ombra è utile per limitare il costo del riscaldamento, mentre limita di poco i costi di raffreddamento.

Il **silica aerogel mortar** è molto adatto perché è caratterizzato da un elevato fattore di resistenza al vapore acqueo (valore μ) e da un elevato coefficiente di trasporto del liquido (valore A). Per questo motivo, l'applicazione di questa tecnologia su muri esistenti è adatta agli involucri che presentano umidità dovute alla capillarità, un problema comune negli edifici storici (Ibrahim M., Wurz E., Biwole P.H. Achard P., Sallee H., 2014).

Si deve invece considerare che l'isolamento termico interno può causare diversi problemi di umidità: incapacità di asciugare nel corso degli anni, rischio di condensa, ecc., È quindi necessario applicare anche una barriera al vapore nell'installazione.

In particolare per gli spazi riscaldati a intermittenza, si ottiene un miglior risultato applicando l'isolamento sul lato interno.

Anche quando si utilizza un indice di controllo termico per la modalità senza riscaldamento le migliori prestazioni si ottengono quando si posiziona l'isolamento sulla superficie interna della parete interna [18].

Caso per caso, per ottenere un elevato livello di comfort, si possono impiegare anche delle vernici con proprietà riflettenti termiche.

Tuttavia, dovrebbe essere preso in considerazione anche il livello di comfort di termico, a seconda del tipo di isolamento coinvolto.

Un isolamento con pareti a bassi valori di trasmittanza U ha anche elevate temperature superficiali di parete e una temperatura ridotta all'interfaccia di parete/isolamento (Walker R., Pavia S., 2015).

Per quanto riguarda l'analisi dei costi, il prezzo dell'aerogel è più alto di quello di un isolamento di tipo tradizionale.

La questione dei costi, per quanto riguarda l'uso di aerogel nell'ambito di edifici storici, può essere ponderata sulla base del valore dell'edificio stesso (che aumenta notevolmente con un intervento di riqualificazione), sui guadagni derivanti dal tipo di attività della destinazione d'uso prevista, sulla durata della vita dell'edificio.

4.5 Isolamento con materiali a cambiamento di fase (PCM)

Materiali a cambiamento di fase per l'isolamento termico

I materiali a cambiamento di fase sono utilizzati in materiali isolanti innovativi al fine di trarre vantaggio della loro evidente alta capacità termica, che risulta particolarmente interessante per palazzi con inerzia termica moderata, perché i PCM hanno un alto potenziale per la riduzione della CO_2 in palazzi leggeri, anche per quel che riguarda il consumo di energia e l'incremento del comfort termico degli abitanti.

In aggiunta, una delle applicazioni più promettenti dei PCM, è includerli direttamente negli strati di isolamento di un muro leggero.

Infatti, date le apparenti capacità termiche, isolanti leggeri inclusivi di particelle di PCM hanno buone performance nell'appianamento e piallatura dei carichi termici di picco.

Inoltre, in alcune condizioni climatiche, possono agire come accumuli termici, attraverso la riduzione dei carichi termici degli edifici.

I PCM, sono una forma di conservazione del calore molto promettente in alcune condizioni climatiche: se posizionate in maniera appropriata, possono indurre ad un decremento del flusso di calore attraverso i muri, pertanto riducendo il carico di raffreddamento degli edifici.

Dati tecnici

Molte prove nella letteratura di settore indicano che è necessario utilizzare un modello di isteresi con due differenti curve di calore specifiche confrontando la fusione e la solidificazione, per determinare la performance termica transitoria del PCM incluso esattamente in uno strato di isolamento.

Data le loro proprietà di forte non-linearità in relazione al comportamento termico, i PCM necessitano di una modellazione molto attenta, possibilmente in condizioni transitorie.

Parete esterna integrata con PCM

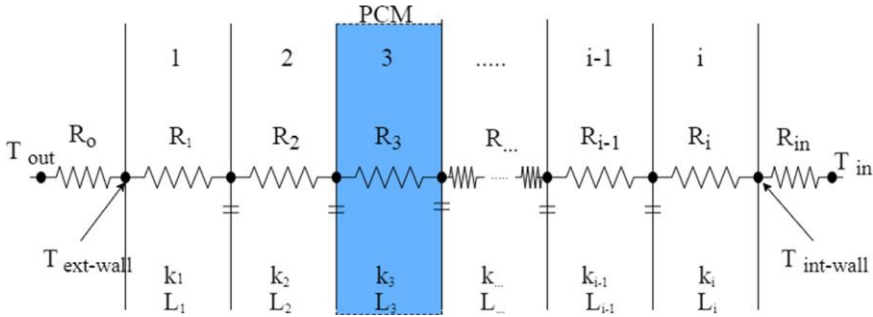


Fig. 4.5 - Ext-wall resistance network model with PCM.

Il bilancio energetico corrisponde ad un sistema di equazioni differenziali.

L'equazione di energia per la superficie esterna può essere scritta come segue:

$$\frac{M_1 c_1}{2} \frac{dT_{\text{ext wall}}}{dt} = \frac{A(T_0 - T_{\text{ext wall}})}{R_0} - \frac{A(T_{\text{ext wall}} - T_1)}{R_1} \quad \rightarrow$$

$$\frac{M_i + M_{i+1}}{2} c_i \frac{dT_i}{dt} = \frac{A(T_{i+1} - T_i)}{R_{i+1}} - \frac{A(T_i - T_{i-1})}{R_i}$$

La capacità di accumulo del calore del PCM viene implementata da una capacità termica dipendente dalla temperatura. I seguenti valori di $c_p(T)$ vengono utilizzati nell'equazione precedente nel caso di uno strato di PCM:

$$T < T_{\text{low}} \quad c_p(T) = c_{\text{psolid}}$$

$$T_{\text{low}} \leq T \leq T_{\text{up}} \quad c_p(T) = f(T)$$

$$T > T_{\text{up}} \quad c_p(T) = c_{\text{pliquid}}$$

Dove T_{low} e T_{up} sono rispettivamente le temperature iniziali e finali del cambiamento di fase. I due specifici valori del calore, $c_{\text{p solid}}$ e $c_{\text{p liquid}}$ sono costanti, mentre $f(T)$ può essere una funzione arbitraria per l'entalpia nell'intervallo di fusione.

Occorre quindi tenere conto dell'isteresi, il che significa che utilizza curve diverse per l'entalpia dei PCM durante le fasi di riscaldamento e raffreddamento.

Vengono di seguito descritti 3 casi studio analizzati.

Caso studio 1

È stato sviluppato un modello dinamico dettagliato, per calcolare gli effetti dei PCM negli strati di isolamento di muri leggeri. Sono stati inoltre investigati i risultati di alcune azioni, usate per migliorare l'efficacia dei modelli [19].

In particolare, l'adozione di due distinte curve c_p che migliorano la precisione delle simulazioni dinamiche, quindi, permettendo lo sviluppo del modello utilizzando un numero minore di punti ed un periodo più ampio.

Diversi test sperimentali validano il modello numerico. In aggiunta è stato presentato il modo in cui la posizione degli strati di PCM in un tipico muro di pannelli, influenza la temperatura ed il flusso di calore, all'interno di ogni strato, in condizioni transitorie. I risultati dimostrano che nel caso preso in esame, la massima riduzione di consumo termico è del 15% circa, ottenuta quando i PCM si trovano in posizione tre e quattro, approssimativamente al centro del muro.

Infine, questo specifico tipo di strato di isolamento genera un ritardo del flusso di calore massimo di circa due ore.

Caso studio 2

Il secondo caso studio è una simulazione dinamica del comportamento termico di un muro multistrato, inclusivo di materiali a cambio di fase, esposto a radiazioni solari in condizioni estive, in un sito Mediterraneo [20].

Il modello dinamico consiste di due parti principali distinte. Per prima cosa viene implementato un modello ad irradiazione solare, basato sull'evoluzione giornaliera dell'angolo di incidenza del sole. Questa soluzione utilizza i risultati di un nuovo modello semplice per separare la radiazione solare diffusa da quella diretta partendo da dati sulla radiazione totale su una sola superficie orizzontale.

In seguito, la radiazione solare è utilizzata come condizione al contorno per la modellazione dinamica del tipico muro multistrato leggero, provvisto di uno strato isolante inclusivo di PCM. Il calcolo dell'effetto solare e dei carichi di raffreddamento sono studiati per tre differenti temperature di fusione dei PCM.

Caso studio 3

In questo studio viene presentato un muro solare sperimentale provvisto simultaneamente di super isolamento, accumulo termico del calore ed irradiazione di luce solare diurna nello spazio interno [21].

Lo strato esterno del muro è composto da un letto di aerogel a base di silice, per l'alto isolamento e la trasmissione delle radiazioni solari. Il secondo strato, interno, è composto da mattoni in vetro riempiti di materiali a cambiamento di fase eutettici per l'accumulo e la restituzione del calore.

L'intero muro è traslucido. Sono state inoltre svolte delle sperimentazioni per caratterizzare le proprietà ottiche e termiche dei materiali impiegati, e vengono in seguito determinati i risultati, per un esperimento comparativo su vasta scala, su un edificio a due piani situato nel sud della Francia, per il muro solare ed un muro opaco standard ad alta capacità termica.

I risultati mostrano che le dispersioni termiche attraverso il muro sono molto basse mentre gli apporti di luce e calore sono alti: Il valore U del muro solare è $0.59 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ e $0.72 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ rispettivamente quando i PCM sono in forma liquida o solida. Con l'edificio oggetto del test in condizione di "libera fluttuazione termica", la differenza di temperatura dell'aria fra l'esterno e l'interno, imputabile al muro, è di circa 9°C in inverno.

Il muro può fornire sino a 500 lux all'ambiente interno, che risulta sufficiente per delle sale conferenza. Il muro oggetto del test è risultato più efficace in inverno e stagioni intermedie, particolarmente in climi freddi e soleggiati, ma può causare surriscaldamento in estate.

4.6 Prospettive di ricerca

Una possibile linea di ricerca riguarda lo sviluppo di soluzioni tecniche ad alta prestazione per l'efficienza energetica e il comfort, passando dal campo di un mono-dominio fisico, caratterizzato da parametri prestazionali costanti (isolamento termico, controllo solare, controllo luminoso, prestazione acustica...) a un multi-dominio fisico e a prestazione variabile, a scala di materiale, componente, o sistema.

L'obiettivo prestazionale riguarda sia il controllo dei flussi termici, sia i controlli solari e luminosi, integrando anche le RES. È quindi possibile l'impiego delle seguenti tecnologie:

- Vetri Elettrocromici, Termocromici, Termotropici, Fotocromici, Cristalli Liquidi, Fotovoltacromici, Gascromici, SPD
- PCM - Phase Change Materials in vetrata/vetrocemento/policarbonato/lamelle schermanti
- Facciate trasparenti attive (ATF - Active Transparent Façades) double skins, climate façade e hybrid ventilated façades
- Facciate Multifunzionali (MFM - Multifunctional Façade Module) con impiantistica a bordo e integrazione RES
- Facciate cinetiche (KF - Kinetics Façade)

Le prospettive future nella ricerca di settore prevedono lo sviluppo di nuovi concetti per migliorare la prestazione e l'ottimizzazione dei componenti di involucro trasparente, la loro gestione ed il controllo.

Le prestazioni possono essere valutate a livello di componente (dal singolo materiale al sistema) oppure a livello di ambiente e edificio.

In entrambi i casi è necessario definire degli indicatori, nel primo caso rappresentativi ad esempio dei domini fisici (ottico/termico/elettrico...) e rispetto alla radiazione solare (diretta/diffusa/globale), mentre a livello ambiente/edificio, dell'efficienza energetica e del comfort termico, visivo, acustico.

Inoltre bisognerebbe tenere conto del voto medio di comfort previsto, attraverso una ricerca dettagliata attraverso utenti reali, da valori PMV a nuovi standard PMV*, in quanto alcuni indicatori di comfort attualmente non sono condivisi.

Nella valutazione del comfort indoor, occorre considerare il comfort igrometrico e l'effetto della radiazione solare sull'occupante.

Per quanto riguarda le prestazioni nella modellazione attraverso simulazioni, la ricerca potrebbe essere orientata allo sviluppo di modelli numerici per sistemi complessi, come le veneziane e altri sistemi schermanti, o sistemi microstrutturati. I software di simulazione possono inoltre essere utilizzati oltre che per le verifiche dei requisiti singoli, all'ottimizzazione tra varie prestazioni, riguardanti diversi aspetti che includono ampi spazi di ricerca.

Bibliografia

- [1] P.T. Tsilingiris, Wall heat loss from intermittently conditioned spaces-The dynamic influence of structural and operational parameters, *Energy and Buildings* (2006), Vol. 38, pp. 1022-1031.
- [2] E. Kossecka, J. Kosny Effect of insulation and mass distribution in exterior walls on dynamic thermalperformance of whole buildings. *Proceedings Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings* (1998).
- [3] R. Walker, S. Pavia, Thermal performance of a selection of insulation materials suitable for historic buildings, *Building and Environment* (2015), Vol. 94, pp. 155-165. [DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.07.033](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.07.033)
- [4] C. Benedetti Materiali isolanti, in *guide pratiche del Master CasaClima* (2012), Bu Press, Bolzano, Italia, pp. 10-15
- [5] H. Asan, Numerical computation of time lags and decrement factors for different building materials, *Building and Environment* (2006), Vol. 41, pp. 615-620.
- [6] M. Ibrahim Improving the building envelopes energy performance using aerogel-based insulating mineral rendering, *Doctorat ParisTech Thèse* (2014), Sophia Antipolis, France.
- [7] H. Asan, Y. S. Sancaktar, Effects of wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor, *Energy and Buildings* (1998), Vol. 28, n. 2, pp. 159-166. [DOI: 10.1016/S0378-7788\(98\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(98)00007-3)
- [8] H. Asan, Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view. *Energy and Buildings* (2000), Vol. 32, pp. 197-203.
- [9] K. Ulgen Experimental and theoretical investigation of effects of wall's thermo- physical properties on time lag and decrement factor. *Energy and Buildings* (2002), Vol. 34 pp. 273-278.
- [10] K.J. Kontoleon, E.A. Eumorfopoulou, The influence of wall orientation and exterior surface solar absorptivity on time lag and decrement factor in the Greek region. *Renewable Energy* (2008) Vol. 33, pp. 1652-1664.
- [11] Ö. Kaska, R. Yumrutas, Comparison of experimental and theoretical results for the transient heat flow through multilayer walls and flat roofs, *Energy* 33 (2008) pp. 1816-1823.
- [12] C. Sun, S. Shu, G. Ding, X. Zhang, X. Hu, Investigation of time lags and decrement factors for different building outside temperatures. *Energy and Buildings* (2013), Vol. 61 pp. 1-7.

- [13] M. Ibrahim, P.H.Biwole, P. Achard, E. Wurz, A. Guillame, Building envelope with a new aerogel-based insulating rendering: Experimental and numerical study, cost analysis and thickness optimization, *Applied Energy* (2015), Vol. 159, pp. 490-501. DOI: [10.1016/j.apenenergy.2015.08.090](https://doi.org/10.1016/j.apenenergy.2015.08.090)
- [14] Ministero dei Lavori Pubblici, Decreto Ministeriale 5 luglio 1975, Italia, G.U., 1975.
- [15] Ministero dei Lavori Pubblici, Decreto Ministeriale 14 giugno 1989, n. 236, Italia, G.U., 1989.
- [16] Pierre A. C. Rigacci A., SiO₂ Aerogels, *Aerogels Handbook* (2011), Springer: Adv. Sol-Gel Deriv. Materials Technol., pp. 21-45.
- [17] Ibrahim M., Wurz E., Biwole P.H. Achard P., Sallee H. Hygrothermal performance of exterior walls covered with aerogel-based insulating rendering, *Energy and Buildings* (2014), Vol.84, pp. 241-251. DOI: [10.1016/j.enbuild.2014.07.039](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.039)
- [18] Ibrahim M., Biwole P.H., Wurz E., Achard P., A study on the thermal performance of exterior walls covered with a recently patented silica-aerogel-based insulating coating, *Build. Environment* (2014), Vol.81, pp. 112,122. DOI: [10.1016/j.buildenv.2014.06.017](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.017)
- [19] A. Fateh, D. Borelli, F. Devia, H. Weinläeder, Dynamic modelling of the solar radiation exposure effects on the thermal performance of a PCMs-integrated wall, *International journal of heat and technology* (2017), Vol. 35, pp. S123-S129. DOI: [10.18280/ijht.35Sp0117](https://doi.org/10.18280/ijht.35Sp0117)
- [20] A. Fateh, F. Klinkerb, M. Brüttingb, H. Weinläderb , F. Devia, Numerical and experimental investigation of an insulation layer with phase change materials (PCMs), *Energy and Buildings* (2015), Vol. 153 pp. 231-240. DOI: [10.1016/j.enbuild.2017.08.007](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.007)
- [21] Y. Berthou, P. Biwole, H., Achard P., Sallée H. , Tantot-Neirac M., Jay F., Full scale experimentation on a new translucent passive solar wall combining silica aerogels and phase change materials, *Solar Energy* (2017), Vol. 115 pp. 733-742. DOI: [10.1016/j.solener.2015.03.038](https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.038)

5 METODOLOGIE DI SIMULAZIONE TERMOENERGETICA DEGLI EDIFICI VERSO NZEB

In questo capitolo vengono analizzate le metodologie di simulazione termoeenergetica degli edifici con un confronto tra l'analisi dei carichi termici a regime stazionario e la termoeenergetica dinamica degli edifici per le diverse applicazioni di riqualificazione energetica degli edifici, analizzando altresì i modelli di calcolo per la diagnosi energetica degli edifici con un esempio per gli edifici storici.

I fabbisogni di energia termica dell'edificio per il riscaldamento e il raffrescamento sono calcolati sulla base del bilancio termico delle zone in cui è suddiviso l'edificio, quando non sia considerato come una singola zona termica. Il bilancio di energia termica è scorporato nel bilancio termico o di energia a livello dell'edificio, che rappresenta l'oggetto della ricerca, e nel bilancio di energia a livello dell'impianto, che in questo studio non viene trattato. Tuttavia, i fabbisogni di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento sono i dati di ingresso nel bilancio energetico degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento e degli impianti di ventilazione.

I metodi di calcolo presenti nella normativa di settore, sono fondamentalmente di tre tipi:

- metodi stazionari, che prevedono il calcolo del bilancio termico stagionale, in linea con i gradi giorno che caratterizzano le zone climatiche
- metodi dinamici, con il calcolo del bilancio termico con passi di tempo brevi (tipicamente un'ora) che tengono conto del calore accumulato, e rilasciato, dalla massa dell'edificio;
- metodi quasi stazionari, con il calcolo del bilancio termico su un tempo sufficientemente lungo (tipicamente, un mese o un'intera stagione), che consente di tener conto degli effetti dinamici attraverso un fattore di utilizzazione degli apporti e/o delle dispersioni, determinato empiricamente

Lo stato di occupazione e le abitudini dell'utente sono fattori determinanti di variazioni del consumo di energia.

Occorrerebbe infatti considerare:

- i settaggi/differenti modalità di utilizzo del termostato
- modalità di apertura delle finestre
- carichi elettrici differenti
- densità di occupazione
- stato di occupazione nell'arco della giornata

Per il fabbisogno energetico degli appartamenti nella maggior parte dei casi si troverà la seguente situazione (vedi grafico): circa l'80% dei consumi sarà di tipo termico (25% per la produzione di acqua calda sanitaria - ACS - e il 56% per il riscaldamento degli ambienti) e il 19% di tipo elettrico.

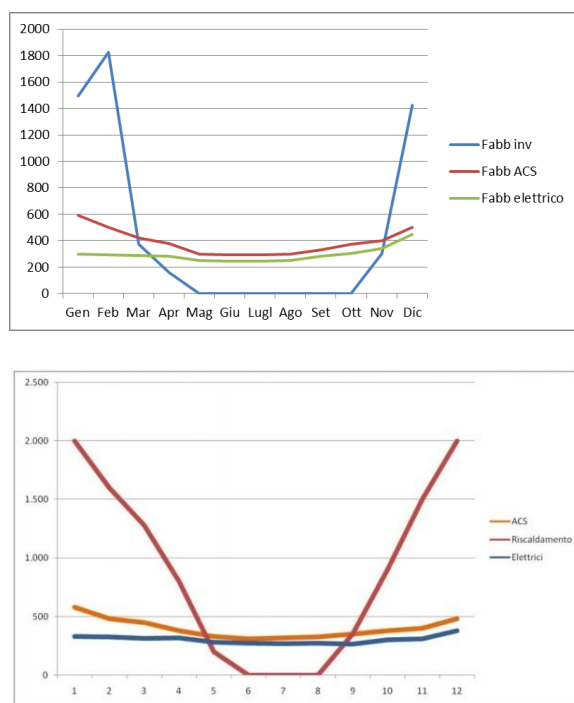


Fig. 5.1 Profili mensili dei fabbisogni energetici per una casa sita in Genova con i GG misurati
E Profili mensili dei fabbisogni energetici per una casa in Italia (Roberto Salustri 2014)

Analogamente ai grafici del capitolo 2 (Fig. 2.2), quello di destra riporta uno studio sul fabbisogno svolto da R. Salustri, mentre il grafico a sinistra è stato ricavato tenendo conto dello studio di Salustri, calcolando la temperatura media mensile ed i relativi gradi giorno effettivi calcolati secondo la definizione dei gradi giorno della normativa UNI EN ISO 15927-6:2008.

Queste percentuali possono variare secondo lo stile di vita degli abitanti e la localizzazione geografica dell'edificio, ma descrive in media il consumo energetico di un edificio residenziale. Questo grafico è stato ricavato, analogamente al grafico del secondo capitolo, Fig. 2.2. sui profili mensili di fabbisogni energetici per una casa isolata con cappotto. È possibile difatti fare un confronto tra i due studi con le diverse soluzioni, al fine di evidenziarne i vantaggi, come la riduzione del 50% dei consumi per il riscaldamento.

5.1 Modelli di calcolo in Regime Dinamico e in Regime Stazionario

Modello statico:

Le attuali norme di riferimento per la stima del fabbisogno energetico degli edifici fanno affidamento a procedure di calcolo in regime stazionario, a prescindere da dimensioni, complessità e destinazione d'uso del fabbricato. Tuttavia, sarebbe opportuno limitare l'utilizzo esclusivo di questi modelli alla valutazione delle caratteristiche energetiche di edifici tecnologicamente semplici.

Modello dinamico:

La simulazione dinamica è un metodo di calcolo che permette di valutare le prestazioni energetiche di un edificio prendendo in considerazione gli effetti inerziali dell'involucro e degli impianti.

Viene infatti considerata la variazione temporale con cadenza oraria e sub-oraria delle modificazioni istantanee dei parametri ambientali esterni, di tutti i parametri microclimatici e dei sistemi interni (temperatura, umidità relativa, risposta degli impianti, ecc.)

È opportuno ricorrere a un modello di simulazione in regime dinamico in presenza di edifici tecnologicamente complessi, sia sotto il profilo costruttivo che sotto quello impiantistico, e comunque ogni qualvolta si necessiti di informazioni molto precise e dettagliate circa le prestazioni termodinamiche del sistema considerato.

I software di simulazione dinamica vengono usati prevalentemente con finalità comparativa e solo raramente per prevedere in termini assoluti le prestazioni energetiche dell'edificio soggetto ad indagine.

5.2 Metodi quasi stazionari

Nei metodi quasi stazionari, gli effetti dinamici sono tenuti in considerazione mediante l'introduzione di fattori di correlazione.

Per il riscaldamento viene utilizzato un fattore di utilizzazione degli apporti termici interni e solari, che tiene in considerazione il fatto che solo parte degli apporti termici interni e solari è utilizzata per ridurre il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, poiché la restante parte porta ad un incremento indesiderato della temperatura interna al di sopra del valore di regolazione.

Per il raffrescamento, ci sono due modi differenti per rappresentare lo stesso metodo:

- a) fattore di utilizzazione delle dispersioni: un fattore di utilizzazione dello scambio termico per trasmissione e ventilazione tiene in considerazione il fatto che solo parte dello scambio termico per trasmissione e ventilazione è utilizzata per ridurre i fabbisogni di raffrescamento, in quanto gli scambi termici per trasmissione e ventilazione "non utilizzati" si manifestano durante periodi o intervalli (per esempio, nella notte) quando essi non hanno alcun effetto sui fabbisogni di raffrescamento che si manifestano durante altri periodi o momenti (per esempio di giorno);
- b) fattore di utilizzazione degli apporti (simile a quello per il riscaldamento): un fattore di utilizzazione degli apporti termici interni e solari tiene in considerazione il fatto che solo parte degli apporti termici interni e solari è compensata dallo scambio termico per trasmissione e ventilazione, assumendo un determinato valore massimo della temperatura interna. La parte restante ("non utilizzata") porta a fabbisogni di raffrescamento per evitare un aumento indesiderato della temperatura interna al di sopra del valore di regolazione.

In entrambi i casi, l'effetto dell'inerzia termica per funzionamento intermittente o spegnimento è tenuto in considerazione separatamente (Antonucci, 2013).

5.3 Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento

Di seguito vengono analizzati vari fattori ed elementi da considerare per il calcolo dei fabbisogni.

Calcolo del fabbisogno di energia termica con il metodo mensile

Per il calcolo del fabbisogno con il metodo mensile vengono trattati entrambi i regimi di climatizzazione, considerando quindi sia il servizio di riscaldamento che quello di raffrescamento.

Per ciascuna zona dell'edificio e ciascun passo di calcolo, il mese, il fabbisogno di energia termica dell'edificio per il riscaldamento ambiente, $Q_{H,nd}$, in condizioni di riscaldamento continuo, è calcolato come indicato dall'equazione:

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} (Q_{int} + Q_{sol})$$

Per ciascuna zona dell'edificio e ciascun passo di calcolo, il mese, il fabbisogno di energia termica dell'edificio per il raffrescamento ambiente, $Q_{C,nd}$, in condizioni di raffrescamento continuo, è calcolato come indicato nella seguente equazione:

$$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

dove

$Q_{H,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione,

$Q_{H,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione,

Q_{int} sono gli apporti termici interni,

Q_{sol} sono gli apporti termici solari.

Per ogni mese, e per ogni zona, si devono inoltre calcolare il termine di scambio, gli apporti totali ed i fattori di utilizzazione degli apporti $\eta_{H,gn}$ e delle dispersioni $\eta_{C,ls}$.

Il fabbisogno annuale è dato dalla somma dei valori mensili per la UNI EN ISO 13790 2008.

La UNI TS 11300-1: 2008. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione estiva ed invernale, considera invece le frazioni di mese che derivano dai limiti di esercizio degli impianti termici, fissati dalla legislazione nazionale.

Fattore di utilizzazione degli apporti per il riscaldamento

Definito il rapporto di bilancio termico, g , come il rapporto tra gli apporti termici mensili e lo scambio termico mensile,

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}$$

il fattore di utilizzazione degli apporti per il riscaldamento, è calcolato con diverse formule, secondo il valore di g H :

$$1) \text{ se } g_H > 0 \text{ e } g_H \neq 1, \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{aH}}{1 - \gamma_H^{aH+1}}$$

$$2) \text{ se } g_H = 1, \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1}$$

$$3) \text{ se } g_H < 0, \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H}$$

a_H è un parametro numerico adimensionale che dipende dalla costante di tempo, τ , definito dall'equazione,

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$$

in cui compaiono il parametro numerico di riferimento adimensionale $a_{H,0}$ e la costante di tempo di riferimento $\tau_{H,0}$.

I valori dei parametri sono valori empirici e sia la UNI EN ISO 13790: 2008, che la 23 UNI/TS 11300-1, forniscono

$$a_{H,0} = 1 \text{ e } \tau_{H,0} = 15 \text{ h}.$$

Fattore di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento

Definito il rapporto di bilancio termico, γ_c , come il rapporto tra gli apporti termici mensili e lo scambio termico mensile,

$$\gamma_c = \frac{Q_{c,gr}}{Q_{c,ht}}$$

il fattore di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento, è calcolato con diverse formule, secondo il valore di γ_c :

$$1) \text{ se } \gamma_c > 0 \text{ e } \gamma_c \neq 1, \eta_{c,ls} = \frac{1 - \gamma_c^{-a_c}}{1 - \gamma_c^{-(a_c+1)}}$$

$$2) \text{ se } \gamma_c = 1, \eta_{c,ls} = \frac{a_c}{a_c + 1}$$

$$3) \text{ se } \gamma_c < 0, \eta_{c,ls} = 1$$

a_c è un parametro numerico adimensionale che dipende dalla costante di tempo, τ , definito dall'equazione

$$a_c = a_{c,0} + \frac{\tau}{\tau_{c,0}}$$

in cui compaiono il parametro numerico di riferimento adimensionale $a_{c,0}$ e la costante di tempo di riferimento, $\tau_{c,0}$.

I valori dei parametri sono valori empirici e la UNI EN ISO 13790: 2008, fornisce $a_{c,0} = 1$ e $\tau_{c,0} = 15 \text{ h}$, e specifica che possono essere calcolati a livello nazionale.

Nella UNI/TS 11300-1, in relazione alle ricerche compiute da Corrado e Fabrizio (2007) [2], si ha:

$$a_c = a_{c,0} + (\tau / \tau_{c,0}) - k(A_w / A_f)$$

dove A_w è l'area finestrata e A_f l'area climatizzata; inoltre $a_{c,0} = 8,1$, $\tau_{c,0} = 17 \text{ h}$, $k = 13$.

Fattore di utilizzazione degli apporti per il riscaldamento

Il fattore di utilizzazione degli apporti termici interni e solari tiene in considerazione il fatto che solo parte degli apporti termici interni e solari è utilizzata per ridurre il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, poiché la restante parte porta ad un indesiderato incremento della temperatura interna al di sopra del valore di regolazione.

Nell'equazione, gli apporti termici non utilizzati sono omessi, e ciò è controbilanciato dal fatto che lo scambio termico aggiuntivo per trasmissione e ventilazione risultante dagli apporti termici non utilizzati è anche omesso: lo scambio termico per trasmissione e ventilazione è calcolato sulla base della temperatura interna di regolazione per il riscaldamento, ignorando così il surriscaldamento (se presente).

Gli apporti termici non utilizzati portano ad un incremento della temperatura interna al di sopra del valore di regolazione e conseguentemente ad uno scambio termico aggiuntivo per trasmissione e ventilazione. In altri termini, il fattore di utilizzazione degli apporti è una misura dell'entità del surriscaldamento.

Pertanto, il percorso (scambio termico basato sulla temperatura di regolazione → fattore di utilizzazione degli apporti → fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e temperatura interna media) è necessario, perché il fattore di utilizzazione (e/o la temperatura interna media) è funzione, tra l'altro, del rapporto tra lo scambio termico basato sulla temperatura di regolazione e gli apporti termici.

Il rapporto di bilancio termico

Il rapporto di bilancio termico, è stato definito come il rapporto tra gli apporti termici, Q_{gn} , e lo scambio termico per trasmissione e ventilazione, Q_{ht} .

Sebbene il rapporto, in particolare nella modalità di riscaldamento, sembri riguardare semplicemente il rapporto tra le quantità entranti di calore (apporti termici interni e solari) e il calore che esce dall'edificio o dalla zona dell'edificio (trasmissione e ventilazione), esiste una differenza che si vuole mettere in evidenza.

La differenza sostanziale è che gli "apporti" sono in realtà tutti i flussi termici (positivi o negativi) che sono (esattamente o per approssimazione) indicati come flusso termico costante, come gli apporti termici solari e interni, che non sono (o sono solo debolmente) dipendenti dalla temperatura interna. Se la temperatura interna aumenta a causa del surriscaldamento, ciò non comporta una diminuzione proporzionale degli apporti termici interni e solari.

Lo scambio termico, invece, riguarda tutti i flussi termici (positivi o negativi) che sono esattamente o per approssimazione fortemente dipendenti dalla temperatura interna, come lo scambio termico per trasmissione e ventilazione. Se la temperatura interna aumenta a causa del surriscaldamento, aumenterà, contemporaneamente, lo scambio termico per

trasmissione e ventilazione dalla zona considerata verso l'esterno, in proporzione alla variazione della differenza di temperatura tra la temperatura interna ed esterna.

Come per lo scambio termico entrante (scambio termico negativo, per esempio trasmissione da una zona calda adiacente, o ventilazione con temperatura dell'aria immessa costante più elevata rispetto alla temperatura interna della zona considerata) questo scambio termico negativo diminuirà proporzionalmente con la variazione della differenza di temperatura.

Fattore di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento

La funzione svolta dal fattore di utilizzazione delle dispersioni deriva dalla seguente ipotesi relativa alla distribuzione delle temperature nell'arco del periodo di fabbisogno di energia per raffrescamento:

il fattore di utilizzazione dello scambio termico per trasmissione e ventilazione tiene in considerazione il fatto che solo parte dello scambio termico per trasmissione e ventilazione è utilizzato per ridurre i fabbisogni di raffrescamento; lo scambio termico per trasmissione e ventilazione "non utilizzato" si manifesta durante periodi o intervalli (per esempio di notte) quando non ha alcun effetto sui fabbisogni di raffrescamento che si manifestano durante altri periodi o momenti (per esempio di giorno). In questo approccio, lo scambio termico per trasmissione e ventilazione nell'equazione di bilancio termico è calcolato sulla base della temperatura interna di regolazione per il raffrescamento, ignorando così il fatto che questo valore di regolazione non sempre si raggiunge. Il fattore di utilizzazione delle dispersioni fornisce la correzione necessaria.

Con questa formulazione si mostra esplicitamente come lo scambio termico contribuisca alla riduzione dei fabbisogni di energia termica dell'edificio per il raffrescamento.

In altri termini, lo scambio termico per trasmissione e ventilazione, $Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}$, è calcolato sulla base della temperatura interna massima desiderata, che è la temperatura di regolazione, mentre la temperatura interna (media) effettiva mediata sul tempo può essere più bassa, a causa di circostanze in cui si verificano temperature più basse del valore di regolazione.

Pertanto, le dispersioni termiche effettive calcolate a partire da questa temperatura interna media effettiva sono anche più basse di quelle calcolate sulla base della temperatura di regolazione, questa differenza è rappresentata dal termine $-\Delta Q_{tr+ve}$.

Indicando con:

- $Q_{C,ht}$ scambio termico totale per trasmissione e ventilazione dell'edificio, espresso in MJ;
- $Q_{H,ht,real}$ la trasmissione termica effettiva, espressa in MJ;
- $Q_{C,gn}$ gli apporti termici solari e interni totali dell'edificio, espressi in MJ;
- $Q_{C,ls}$ è il fattore adimensionale di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento;

allora, l'equazione completa del fabbisogno mensile di energia termica per il raffrescamento ambiente è data dall'equazione:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - Q_{C,ht,real}$$

$$\text{per } \theta_{int,mn} < \theta_{reg}, Q_{C,ht,real} = Q_{C,ht} - \Delta Q_{tr+ve}$$

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - Q_{C,ht,real} = Q_{C,gn} - (Q_{C,ht} - \Delta Q_{tr+ve}) = Q_{C,gn} - Q_{C,ht} + \Delta Q_{tr+ve}$$

In considerazione del fatto che, per il metodo del "fattore di utilizzazione" mensile, il ΔQ_{tr+ve} è uguale alla parte non utilizzata delle dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione, assumendo

$$(1 - \eta_{C,ls}) Q_{C,ht} = \Delta Q_{tr+ve},$$

contrariamente a quanto proposto nella UNI EN ISO 13790, si avrà

$$\begin{aligned} Q_{C,nd} &= Q_{C,gn} - Q_{C,ht} + (1 - \eta_{C,ls}) Q_{C,ht} = \\ &= Q_{C,gn} - Q_{C,ht} + Q_{C,ht} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} \end{aligned}$$

che rappresenta l'equazione del bilancio presente nella norma.

La costante di tempo

La costante di tempo della generica zona termica dell'edificio, τ , rappresenta il rapporto tra le caratteristiche di accumulo termico e la somma delle caratteristiche di scambio termico, espresse dalla somma dei due coefficienti globali di scambio termico per trasmissione e per ventilazione:

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}}$$

C_m è la capacità termica interna della zona dell'edificio, in J/K, mentre, per i coefficienti di scambio, devono essere utilizzati dei valori rappresentativi della stagione dominante.

Ad esempio, può essere il valore mensile per un mese invernale centrale nel caso di clima dominato dal riscaldamento, o il valore mensile per un mese estivo centrale nel caso di clima dominato dal raffrescamento.

La capacità termica interna della zona dell'edificio, C_m , in J/K, si calcola sommando le capacità termiche di tutti gli elementi edilizi a contatto termico diretto con l'aria interna della zona in esame, secondo la seguente equazione:

$$C_m = \sum k_j x A_j$$

in cui figurano l'area dell'elemento j -esimo in metri quadrati, A_j , e la capacità termica interna per unità di area k_j .

La k_j , si calcola secondo la UNI EN ISO 13786 : 2008 Prestazione termica dei componenti per l'edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo, che per gli strati piani ed omogenei è data da :

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{T}{2\pi} \left| \frac{z_{11} - 1}{z_{12}} \right| \\ k_2 &= \frac{T}{2\pi} \left| \frac{z_{22} - 1}{z_{12}} \right| \end{aligned}$$

in cui figura la matrice di trasferimento del calore ed il periodo delle variazioni.

La matrice di trasferimento si esprime in funzione del rapporto, ξ , tra lo spessore dello strato (d) e la profondità di penetrazione periodica (d) :

$$z_{11} = z_{22} = \cosh(\xi) \cos(\xi) + j \sinh(\xi) \sin(\xi)$$

$$z_{12} = -\frac{\delta}{2\lambda} \{ \sinh(\xi) \cos(\xi) \cosh(\xi) \sin(\xi) + j [\cosh(\xi) \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cos(\xi)] \}$$

La norma UNI EN ISO 13790 e la UNI/TS 11300-1, propongono anche il calcolo della capacità termica areica mediante il metodo semplificato della UNI EN ISO 13786, nonché l'adozione di valori che si trovano nei prospetti dei valori di default per i parametri dinamici in esse presenti.

Come già introdotto nel capitolo 1 le diagnosi energetiche sono molto utilizzate soprattutto per affrontare le criticità derivanti dall'applicazione del DM 26.06.2015 "Requisiti Minimi":

- Influenza non trascurabile degli scambi termici per trasmissione dovuti alla presenza dei ponti termici (attualmente inclusi nelle trasmittanze termiche dell'edificio di riferimento).
- Il valore del coefficiente globale di scambio termico per unità di superficie massimo ammissibile $H'T$ appare essere non correttamente ragguagliato ai valori dell'edificio di riferimento.
- I **rendimenti di riferimento dei sottosistemi di utilizzazione** (emissione, regolazione, distribuzione ed eventuale accumulo), sia per quanto riguarda i sistemi idronici, sia per quelli aerulici o misti, sono sottostimati.
- L'EP (UNI/TS 11300-1) è calcolato tenendo conto della **capacità termica areica** dei componenti della struttura dell'edificio. I relativi risultati tuttavia, sono poco influenzati dalla variazione delle caratteristiche di massa dell'involucro opaco. Il D.M. "Requisiti Minimi" aggiunge altri requisiti (massa superficiale o modulo di trasmittanza termica periodica dell'involucro) finalizzati a contenere i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e la temperatura interna degli ambienti. Tali requisiti non sono sufficienti per verificare l'efficacia del comportamento estivo del fabbricato

Ricerche sul fattore di utilizzazione e sui metodi approssimati

Molte ricerche sono state svolte sul fattore di utilizzazione e sui metodi approssimativi

Il metodo che utilizza i fattori di correlazione, nacque in Olanda agli inizi degli anni '90 (van den Ham, 1992); fu in seguito esteso come metodo mensile per calcolare il fabbisogno energetico per il raffrescamento degli edifici non residenziali (NEN 2916, 1995); in Belgio ed in Germania venne inoltre proposto per l'adozione nei regolamenti edilizi. Lo stesso metodo fu applicato nel 2004 nei Paesi Bassi per garantire il comfort termico in estate e per un efficiente utilizzo delle tecniche di raffrescamento passivo degli edifici residenziali (van Dijk, Spiekman, de Wilde).

Dato che utilizzando la norma olandese risultava che le temperature medie mensili delle sei località italiane considerate risultavano inferiori a 26 °C e che il termine di scambio che figurava nell'equazione del bilancio comportava sempre una riduzione del carico, il Prof. Luigi Schibuola decise di utilizzare dei fattori di utilizzo per l'equazione di bilancio, calcolati in

funzione dei fabbisogni mensili ottenuti con il software DOE. I valori che si ottennero non si potevano confrontare con le formule fornite per il fattore di utilizzazione, cioè in funzione del rapporto di bilancio termico e della costante di tempo dell'edificio.

In seguito il Prof. Schibuola propose un algoritmo di calcolo del fabbisogno mensile, basato sulla considerazione che non tutti gli apporti entranti contribuivano al carico, perché una loro quota era spontaneamente dispersa all'esterno.

$$Q_c = \eta_u (Q_I + Q_{si}) - (Q_L - Q_{se})$$

dove,

Q_L perdite totali per trasmissione e ventilazione, MJ;

Q_{si} apporti solari entranti attraverso le superfici opache, MJ;

Q_{se} apporti solari entranti attraverso le superfici trasparenti, MJ;

Q_i apporti interni, MJ;

η_u fattore di utilizzazione dei flussi entranti.

$$\gamma = 1 - \frac{Q_L}{Q_I + Q_{si} + Q_{se}}$$

Assumendo i profili orari dell'andamento del grafico ottenuto grazie alla sopracitata formula, e applicando il principio della sovrapposizione degli effetti alle sollecitazioni termiche che agiscono sull'edificio, il carico di riscaldamento o raffreddamento può essere espresso come somma di due termini: una quota relativa alle dispersioni per trasmissione e ventilazione e una quota relativa ($Q_{L \rightarrow G}$ e $Q_{L,extra}$) agli apporti gratuiti (Q_{L+} e $Q_{G,extra}$).

$Q_{L \rightarrow G}$ è la parte di dispersioni che vanno a compensare gli apporti gratuiti, abbassando perciò il fabbisogno di energia per riscaldamento/raffrescamento;

$Q_{L,extra}$ è la parte di extra-dispersioni rispetto agli apporti, che produce un fabbisogno di riscaldamento in inverno e un abbassamento della temperatura interna al di sotto della temperatura di setpoint in estate;

Q_{L+} è l'energia termica entrante all'interno dell'edificio per effetto dell'incremento della temperatura esterna sopra quella interna;

$Q_{G,extra}$ è la quota di extra-apporti gratuiti rispetto alle dispersioni, che produce un aumento della temperatura interna in inverno e un fabbisogno di raffreddamento in estate.

In un giorno tipo estivo,

$$Q_{C,nd} = Q_{G,extra} + Q_{L+} = Q_G - Q_{L \rightarrow G} + Q_{L+}$$

perciò il fattore di utilizzazione delle dispersioni può essere espresso come rapporto tra le dispersioni che vanno a compensare gli apporti (utili perciò ai fini di ridurre la domanda di energia per raffreddamento) e le dispersioni totali.

$$\eta_{C,ls} = (Q_{L \rightarrow G} - Q_{L+}) / Q_L$$

dove,

$$Q_L = Q_{L \rightarrow G} + Q_{L,extra} - Q_{L+}$$

$$\eta_{C,ls} = (Q_{L \rightarrow G} - Q_{L+}) / (Q_{L \rightarrow G} + Q_{L,extra} - Q_{L+})$$

Il fattore di utilizzazione veniva così direttamente correlato al profilo temporale dei carichi termici dell'edificio ed ai set point di gestione dell'impianto di climatizzazione.

I confronti tra i risultati della procedura semplificata con quelli delle simulazioni dinamiche hanno evidenziato che per un edificio di tipo direzionale, i metodi quasi stazionari comportavano una sovrastima rispetto ai fabbisogni ottenuti con il metodo di simulazione dinamica, che aumentava all'aumentare del fabbisogno stesso. Per edifici di tipo residenziale la differenza con i valori forniti da Energy Plus è ancora maggiore.

5.4 Confronto tra modelli dinamici e semi-stazionari

Come dimostrato in diversi studi sul confronto deterministico tra l'approccio stazionario e quello dinamico ([1], [2], [7], [8]) utilizzando rispettivamente TRNSYS, IDAICE, Energy Plus ed ESP-r), c'è una differenza di risultati significativa rispetto all'approccio previsto dalle metodologie in semi-stazionario basate sugli standard CEN centrati sulla EN 13790.

Secondo questi studi, tale differenza è causata dal valore utilizzato per i fattori di utilizzazione del flusso di calore e del trasporto di massa.

La conclusione di tali studi è stata che, calibrando opportunamente tali fattori di utilizzazione, l'approccio semi-stazionario potrebbe convergere ai risultati di quello dinamico.

Dijk et al. (2005) [10] hanno presentato risultati opposti e cioè che l'approccio stazionario portava a fabbisogni energetici quasi identici a quelli ottenuti con una simulazione in Energy Plus. In particolare, questi autori riscontrano una differenza nel valore del fabbisogno di riscaldamento e di raffrescamento che potrebbe variare rispettivamente dal 3% al 10% e dal 6% all'8. Tuttavia, si deve precisare che tale studio è basato su un confronto deterministico tra i due approcci e pertanto, come nella natura di tali tipi di confronto, il risultato è fortemente influenzato dalle variabili di ingresso scelte. Infatti quando le variabili d'ingresso coinvolte nell'analisi possono variare in un ampio range di valori è necessario applicare un approccio stocastico e considerare per le variabili di input una distribuzione di probabilità (Fabbri C., 2017).

Recentemente Kim et al. (2013) [7] hanno proposto un confronto stocastico tra l'approccio stazionario e dinamico per il calcolo delle prestazioni del sistema edificio/impianti, arrivando alla conclusione che solo un'opportuna calibrazione dell'equazione del modello stazionario consente di ottenere risultati convergenti con quelli delle simulazioni dinamiche.

5.5 Software di simulazione dinamica

Tra i software principalmente utilizzati nella simulazione dinamica, in questo capitolo è stato analizzato il software Energy Plus, un motore di simulazione a struttura modulare sviluppato dallo U.S. Department of Energy, al fine di evidenziarne i campi di impiego, le caratteristiche, le potenzialità e problematiche rispetto al riscontro con l'edificio reale e all'impiego di altri software.

5.5.1 Energy Plus

Energy Plus è un software di simulazione termo energetica. A differenza di BLAST e DOE-2, software a simulazione sequenziale dai quali deriva, Energy Plus nasce come programma innovativo in quanto è basato sulla simulazione integrata dell'ambiente e dell'impianto di climatizzazione. Ciò significa che tutte e tre le parti principali, costruzione, sistema e impianto, devono essere risolte simultaneamente, infatti l'informazione relativa al carico che l'impianto è effettivamente in grado di bilanciare viene utilizzata per determinare le condizioni di temperatura dell'aria in ambiente, seguendo con ciò un processo iterativo. L'architettura del software può essere descritta come l'interazione di tre moduli principali Fig. 5.1:

- Surface Heat Balance Manager, risolve il bilancio termico in corrispondenza di ciascuna parete
- Air Heat Balance Manager: risolve il bilancio dell'ambiente attraverso la simulazione simultanea degli scambi termici radianti e convettivi;
- Building Systems Simulation Manager: conduce la simulazione dei componenti impiantistici.

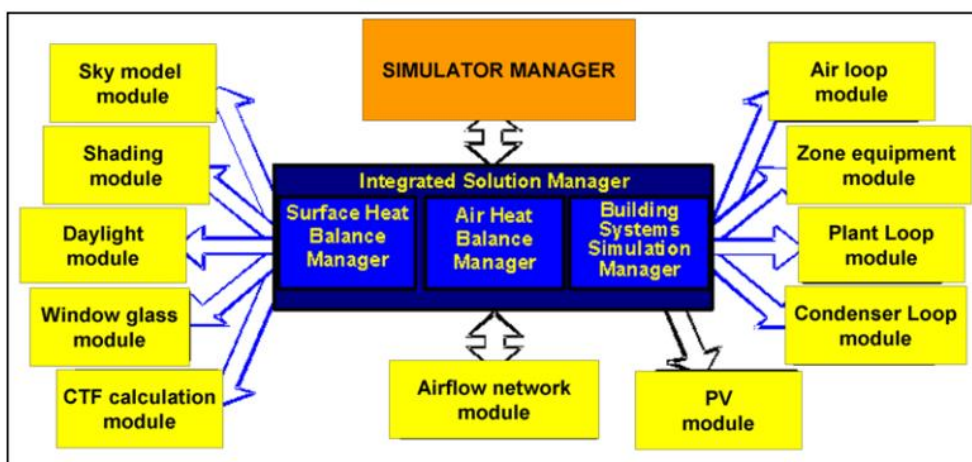


Fig. 5.1 - Architettura del codice EnergyPlus fonte: Energy Plus Documentation

Questi moduli principali interagiscono con altri secondari e sono contenuti all'interno dell'Integrated Simulation Manager, che fa sì che i tre moduli siano risolti simultaneamente, e non in cascata, per ottenere una simulazione il più possibile realistica.

In Energy Plus si distinguono due time step; uno per l'analisi dell'interazione tra le zone termiche e l'ambiente esterno, che viene definito dall'utente (ad es. 15 min); il secondo variabile e non direttamente modificabile dall'utente è quello per l'analisi degli impianti di climatizzazione (System time step).

Il software procede secondo successive iterazioni tra la domanda di energia dell'edificio e l'offerta di energia dell'impianto di climatizzazione: alla prima iterazione si stima il carico termico dell'ambiente, avendo fissato la temperatura interna pari a quella di set-point.

Una volta assunto questo carico termico come potenza richiesta all'impianto, viene simulato il comportamento dell'impianto di climatizzazione e viene stimata l'effettiva potenza termica che questo è in grado di fornire a quell'istante temporale; con questa potenza termica viene determinata l'effettiva temperatura della zona termica avendo approssimato la derivata temporale della temperatura dell'aria, nel termine che rappresenta la variazione di energia interna del sistema, attraverso una differenza finita del terzo ordine.

Questa procedura è nota come *"predictor/corrector method"*.

Le condizioni meteorologiche sono inserite attraverso specifici giorni di progetto definiti dall'utente (ogniquale volta si voglia un calcolo di dimensionamento) oppure sono inserite attraverso un file.epw (EnergyPlus Weather data file) per le simulazioni in condizioni di esercizio. Tali files oltre alle principali grandezze climatiche dell'anno (temperatura, umidità), contengono dati sull'irradianza diretta normale, impiegata nel calcolo della quota diretta della radiazione solare su una superficie comunque orientata avendo assunto un modello di cielo anisotropo.

Al fine di condurre le simulazioni termo-energetiche, Energy Plus ha tre componenti: un modulo di simulazione del comportamento della struttura, un modulo di simulazione dei bilanci di massa e di energia e un modulo di controllo che sovrintende l'intero processo di simulazione (Fig.5.2).

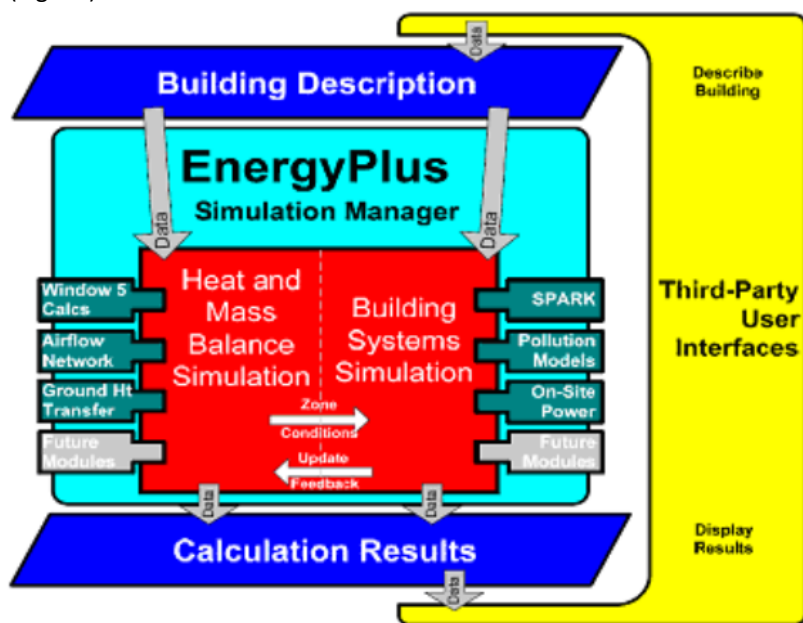


Fig. 5.2 - Struttura, moduli di calcolo e logica operativa di Energy Plus

➤ Simulation Manager

Il gestore della simulazione consiste nella sezione di supervisione del codice numerico, che stabilisce e controlla le interazioni simultanee tra gli altri strumenti di simulazione. Questo modulo infatti guida lo scambio di dati tra il risolutore del bilancio termico e i vari sotto-moduli relativi alle simulazioni del sistema HVAC (cioè caldaie, refrigeratori, pompe,

ventilatori e tutti gli ausiliari), e amministra le attività del risolutore, fornendo e gestendo le condizioni al contorno in ingresso, nonché i dati in uscita.

➤ Heat and mass balance simulation

Questo modulo controlla la simulazione delle zone termiche dell'edificio, nell'ipotesi che in ciascuna zona termica l'aria interna possa essere considerata a temperatura uniforme (modello zero-dimensionale). Le altre ipotesi semplificative, relativamente ai modelli di bilancio termico, sono quelle di considerare che le superfici di ogni ambiente abbiano livelli termici uniformi, conduzione in regime monodimensionale e irradiazione superficiale diffusa e uniforme. Come mostrato nella Fig.6-7, il modulo del bilancio di energia e di massa funziona attraverso l'applicazione di strumenti di calcolo diversi:

- Comis: strumento di calcolo per il flusso d'aria multi-zona, infiltrazioni, aria di ventilazione e di contaminazione;
- Window 5: comprende strumenti di calcolo per i corpi finestrati e modulo del cielo anisotropo;
- Modulo della luce diurna: valuta l'illuminamento interno della luce diurna, l'abbagliamento attraverso i corpi finestrati ed i sistemi per il controllo dell'abbagliamento accoppiati con i sistemi di controllo per l'illuminazione elettrica;
- Ground Heat Transfer: modulo per il calcolo del profilo di temperatura sotto il suolo e la valutazione delle potenzialità del terreno in pre-riscaldamento e preraffreddamento.

➤ Building System Simulation Manager

Il modulo del bilancio di massa e di energia, come prima descritto, trasmette i risultati di ogni step di simulazione al gestore del sistema di simulazione dell'edificio. Il modulo di simulazione del comportamento della struttura controlla le simulazioni di HVAC, del sistema elettrico, di componenti e dispositivi e delle condizioni delle zone termiche fino al momento dell'inizializzazione, aggiornando le condizioni della zona per quanto riguarda il controllo del microclima indoor (fig. 5.3).

I risultati vengono ritrasmessi al modulo del bilancio di massa e di energia, in modo che gli effetti dell'HVAC possano essere calcolati nel nuovo bilancio della zona termica.

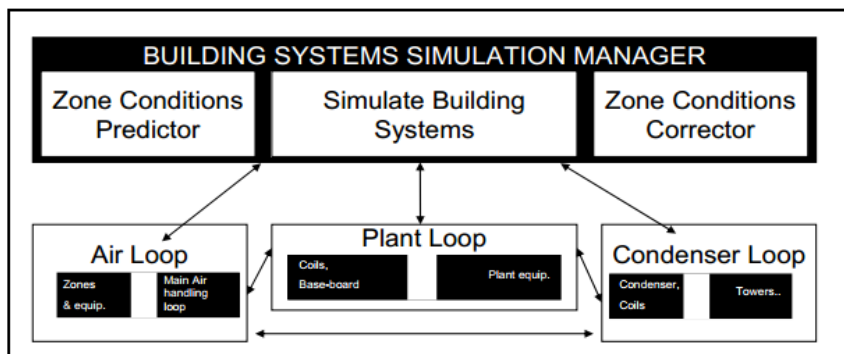


Fig. 5.3 - Struttura, moduli di calcolo e logica operativa di EnergyPlus

Questa sezione rappresenta una delle migliori caratteristiche e peculiarità di EnergyPlus: essa consiste in un metodo di simulazione non-sequenziale, che caratterizza invece tutti i precedenti motori di simulazione energetica di un edificio, in modo da rendere possibile una simulazione pienamente integrata dei carichi, dei sistemi e dei dispositivi attivi di energia.

Da quanto riportato emerge, che attualmente Energy Plus risulta uno dei codici più adatti al fine di simulare il comportamento energetico in transitorio di edifici e impianti, sia per quanto riguarda le condizioni microclimatiche realizzabili che le richieste di energia. Naturalmente, tutti i risultati si riferiscono ad un singolo nodo che rappresenta tutta la zona termica (approccio zero-dimensionale).

Così, quando è richiesta un'analisi non nel dominio del tempo, ma nel dominio spaziale, l'uso della fluidodinamica computazionale rimane l'unico metodo di analisi per una simulazione affidabile. Nessun programma è in grado di gestire ogni possibile situazione di simulazione. Ciò nonostante, l'intento di EnergyPlus è quello di trattare molte opzioni di progettazione degli edifici e dei sistemi HVAC sia direttamente che indirettamente, attraverso collegamenti con altri programmi per il calcolo dei carichi termici e/o di energia richiesta per la climatizzazione invernale ed estiva.

5.6 Modelli di calcolo per la diagnosi energetica degli edifici

La metodologia per la determinazione dell'efficienza energetica di un edificio è basata sulle normative tecniche europee di calcolo, determinate dai dati tecnici dell'edificio, degli impianti, nonché dai dati climatici standardizzati (temperatura, esterna, irraggiamento solare), dall'uso dell'edificio (temperatura della stanza, aerazione, fabbisogno di acqua calda) e dal vettore energetico (gas, olio, ecc.).

I valori delle entità sopra citati non definiscono i consumi effettivi, ma sono dei calcoli di fabbisogno energetico attraverso valori standardizzati che definiscono una valutazione di calcolo.

Questi metodi rendono possibile una valutazione indipendente dalle abitudini degli abitanti dell'edificio.

I modelli di calcolo a regime dinamico presentano numerose potenzialità e possono essere inoltre utilizzati per analisi integrate che tengano conto di più aspetti (i.e. analisi multiobiettivo), come il risparmio energetico, il comfort visivo, il comfort termico, etc.

Occorre quindi utilizzare un approccio multi-livello/multi-physics e interdisciplinare: scelta di soluzioni tecnologiche per la produzione, l'accumulo e la distribuzione di energia e la riduzione del fabbisogno; integrazione e ottimizzazione in fase di progettazione, costruzione ed esercizio.

Nel seguito, viene presentata la metodologia e i criteri di applicazione di Energy Plus ad un caso di studio complesso relativo alla simulazione termoeconomica dinamica per il risparmio energetico di Forte Begato, i cui risultati sono stati presentati nel Cap. 7 relativamente ai fabbisogni energetici e gli interventi di riqualificazione. Ed in particolare rispetto all'isolamento termico.

Obiettivi delle simulazioni energetiche con Energy Plus per gli edifici storici

L'obiettivo della simulazione presentata nel capitolo 7, relativa ai Forti, è quello di sviluppare un modello numerico con Energy Plus per la riqualificazione energetica degli edifici storici di tipo militare, al fine di calcolare lo spessore ottimale dell'isolamento termico e condurre un'analisi dei costi per i diversi climi tipici.

Lo scopo della diagnosi energetica è la riduzione dell'utilizzo di energia, attraverso la valutazione dei profili di utilizzo dell'energia.

La diagnosi energetica di edifici storici militari, come sono i Forti, può presentare problemi, come la mancanza di piante o sezioni appropriate, delle conoscenze dei materiali e della stratigrafia delle pareti interne ed esterne.

L'accesso a tale conoscenza, attraverso la ricerca d'archivio riguardante l'edificio originale e le modifiche apportate nel tempo, è necessaria per l'adeguata progettazione degli interventi (De Santoli L., et al., 2014). Successivamente viene effettuata un'analisi per determinare la dipendenza dello spessore dal carico di riscaldamento annuale.

L'obiettivo è quello di esaminare le prestazioni termofisiche delle pareti e di confrontare le diverse configurazioni di isolamento termico. Sono state esaminate due strutture di murature esterne: nessun isolamento e isolamento interno. Tra i criteri di valutazione, il fattore più importante è la quantità di dispersioni termiche.

Il comportamento energetico della struttura del muro è il punto principale da indagare. L'obiettivo è quello di trovare la migliore struttura di parete e il numero e la posizione degli strati isolanti sulla parete esterna per la modalità di funzionamento di riscaldamento e raffrescamento continui.

Metodologia di simulazione

Il fabbisogno energetico di "Forte Begato", utilizzato come esempio per questo studio, è stato calcolato con il software Energy Plus. Sono state prese in considerazione diverse zone termiche, secondo due diversi parametri: l'orientamento dell'edificio e le destinazioni d'uso previste per le diverse aree.

Considerando l'elevato spessore delle pareti della fortezza, le zone di riscaldamento sono state disegnate a partire dalla metà dello spessore della parete, in modo che il volume complessivo dell'edificio non aumenti, una volta assegnato lo spessore delle pareti.

Al contrario, per il calcolo del flusso termico disperso attraverso le finestre, viene considerata l'effettiva area della finestra. In questo caso, coincide con la superficie della vetrata misurata sulla superficie del perimetro interno dell'edificio.

Inoltre, per quanto riguarda la struttura orizzontale, è stato considerato un metodo semplificato, che considera tutti gli strati come se fossero tutti piani. Questo metodo è stato utilizzato sia per il tetto a due falde che per il solaio a volta.

La resistenza termica complessiva di un componente dell'edificio, contenente una volume d'aria fortemente ventilato, è ottenuta omettendo la resistenza termica dell'intercapedine d'aria e di tutti gli altri strati che separano la cavità d'aria di cui sopra dall'ambiente esterno e includendo una resistenza termica superficiale, in corrispondenza della superficie dell'edificio (uguale alla resistenza termica interna dello stesso componente).

Bibliografia

- [1] D. F. Antonucci Il metodo di calcolo quasi stazionario del fabbisogno energetico di raffrescamento in Italia (2013)
- [2] V. Corrado, E. Fabrizio, Assessment of building cooling energy need through a quasisteady state model: simplified correlation for gain-loss mismatch. *Energy and Buildings* (2007), Vol. 39 (5), pp. 569-579.
- [3] NEN 2916:1994 Energy Performance of Non-Residential Buildings – Determination Method (1994),
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, The Netherlands.
- [4] D. Van Dijk, M.E. Spiekman, P. de Wilde, Monthly method to calculate cooling demand of EP regulations (2004), CEN/TC89 N870.
- [5] D. Van Dijk, M.E. Spiekman, Monthly method to calculate cooling demand of EP regulations (2003),
CEN/TC89 N870, Brussels.
- [6] L. Schibuola, 1999, Valutazione semplificata del fabbisogno energetico estivo degli edifici, CDA, N.2, pg.131-138.
- [7] M. Beccali, L. Mazzarella, M. Motta Simplified models for building cooling Energy requirement Contributo in Atti di Convegno: 7th IBPSA Conference (2001), Rio de Janeiro, Brazil, 13-15.
- [8] J. Jokisalo, J. Kurnitski, Performance of EN ISO 13790 utilization factor heat demand calculation method in a cold climate. *Energy and Buildings* (2007), Vol. 39 (2), pp. 236-247.
- [9] G. Kokogiannakis, P. Strachan, J. Clake Comparison of the simplified approach of the ISO 13790 standard and detailed modeling programs in a regulatory context. *Journal of Building Performance Simulation* (2008) 1 (4), pp. 209-219.
- [10] H. Dijk, M. Spiekman, P. De Wilde A monthly method for calculation energy performance in the context of European building regulations. Contributo in Atti di Convegno: 9th IBPSA Conference (2005), Montreal, Canada, 15-18.
- [11] C. Fabbri, Un modello semplificato di regolazione del sistema edificio - impianto ed analisi critica delle potenzialità di utilizzo di valvole termostatiche ai fini del risparmio energetico. Marzo 2017
- [12] Y.J. Kim, S.H. Yoon, C.S. Park, Stochastic comparison between simplified energy calculation and dynamic simulation *Energy and Buildings* (2013), Vol. 64, pp. 332-342.
- [13] L. De Santoli, L. Bellia, S.P. Corgnati, A.F.R. D'Ambrosio, M. Filippi, L. Mazzarella, P.C. Romagnoni, F. Sciurpi, Efficienza energetica negli edifici storici, Guida AICARR (2014), Milano, Italia.

6 CASO DI STUDIO – IMPIANTO PILOTA DEL PALACUS

L'impianto pilota del centro sportivo universitario PalaCus, il Centro Sportivo dell'Università di Genova, sfrutta pannelli ibridi (termici e fotovoltaici - FV/T (acronimo inglese **PV/T**)) e il sistema Pompa di Calore Elio-Assistita (Solar Assisted Heat Pump-**SAHP**) con Pompa di Calore (Heat Pump-HP) acqua-acqua per produrre contemporaneamente energia elettrica e termica.

L'obiettivo di questo impianto pilota è di coprire sino al 70% della domanda di energia termica per ACS (Domestic Hot Water-DHW) e riscaldamento (Space Heating-SH) dell'edificio attraverso l'uso di energia solare.

Per quanto riguarda il consumo di energia elettrica per la pompa di calore, calcolato su base annua, si deve considerare che l'alto consumo durante il periodo invernale è coperto dalla produzione elettrica PV/T specialmente durante l'estate, anche considerando che la pompa di calore non viene utilizzata durante il periodo estivo grazie ad un bypass che viene attivato nell'impianto, escludendo la pompa di calore, perché è sufficiente il solare termico.

Lo sviluppo ed il controllo dell'impianto pilota è il risultato di un modello che riproduce il comportamento dinamico dei pannelli ibridi, validato con test in esterna su un prototipo sviluppato e realizzato modificando un pannello fotovoltaico commerciale [1].

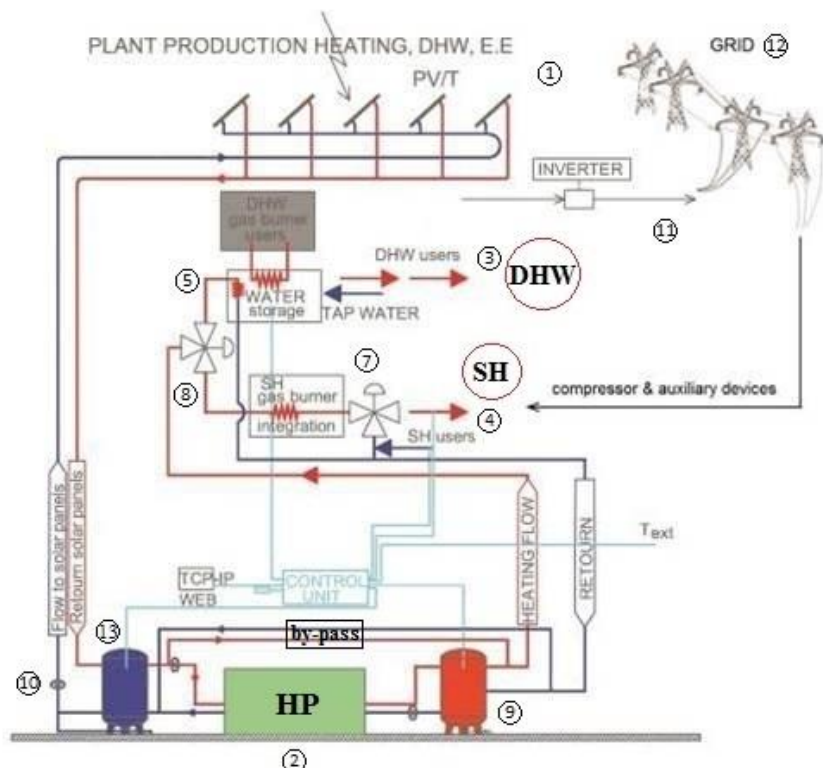


Fig. 6.1 - Schema funzionale del sistema W-SAHP-PVT del progetto pilota per il PalaCus

Il sistema è mostrato in Fig. 6.1: il circuito termico del pannello solare ibrido è connesso alla stazione termica attraverso linee elettriche termo-idrauliche secondarie separate. Il circuito principale della pompa di calore distribuisce acqua calda ai sotto-sistemi DHW ed SH preesistenti attraverso una valvola a tre vie (8). Il liquido di trasferimento termico (miscela acqua-glicole) viene riscaldato da radiazioni solari nei pannelli PV/T (1) e mandato nel serbatoio di accumulo dell'acqua fredda (13) dalla quale fluisce nell'evaporatore della pompa di calore (2).

L'energia termica assorbita dall'HP viene trasferita dall'evaporatore al condensatore attraverso il compressore HP. Analogamente, il serbatoio dell'acqua calda (9) (quello rosso in basso nella figura 3) migliora le condizioni di lavoro dell'HP, riducendo gli effetti negativi delle variazioni di temperatura della domanda. L'HP è capace di distribuire energia termica al DHW (3) ed al sistema di riscaldamento (4) esistenti, sistemi che dispongono di bruciatori a gas di riserva, con i loro circuiti di circolazione e controlli di flusso. In particolare nella figura 6.1 si vedono la valvola di controllo della temperatura dell'SH e la valvola principale a tre vie (8), capace di scambiare fra circuiti ad acqua calda secondari (DHW o SH) ed il flusso di acqua calda proveniente dal circuito primario dell'HP.

Lo sfruttamento dell'energia solare viene eseguito tramite l'utilizzo di pompe ad acqua ad velocità variabile (10) per la frazione termica ed attraverso invertitori appropriati (11) connessi alla rete (12) per la frazione PV. Le necessità di energia elettrica della HP sono soddisfatte tramite un contatore bi-direzionale. Un bilanciamento positivo netto dell'energia elettrica è garantito integrando energia prodotta e consumata nell'arco dell'anno.

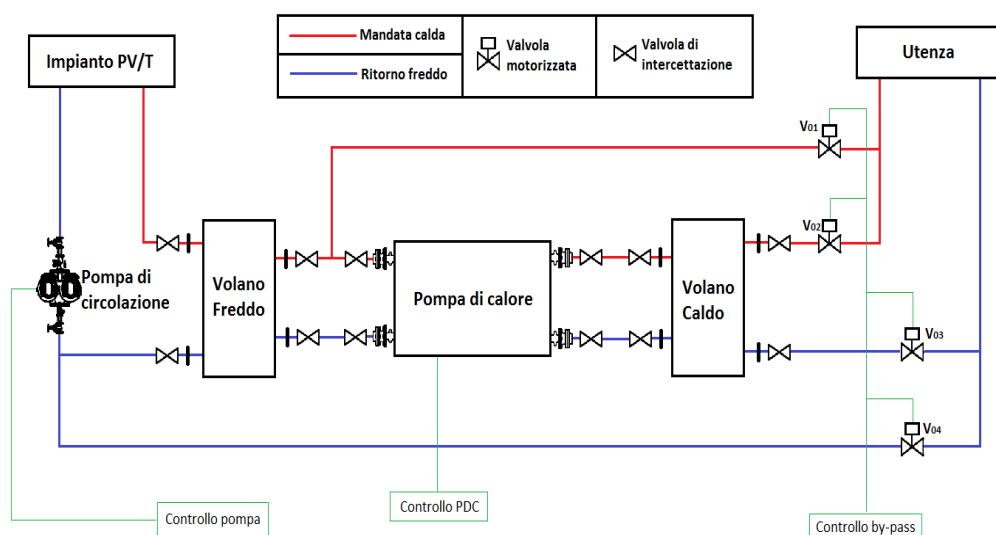


Fig. 6.2 - Funzionamento impianto

Una vista aerea dell'impianto con la posizione di palazzi e PV/T è riportata in Fig. 6.3 (a).

Si può notare che la pompa di calore ed i dispositivi di controllo termici sono posizionati nell'edificio principale (stazione energia termica) a grande distanza dal campo solare (figura 6.3), circa 200m.

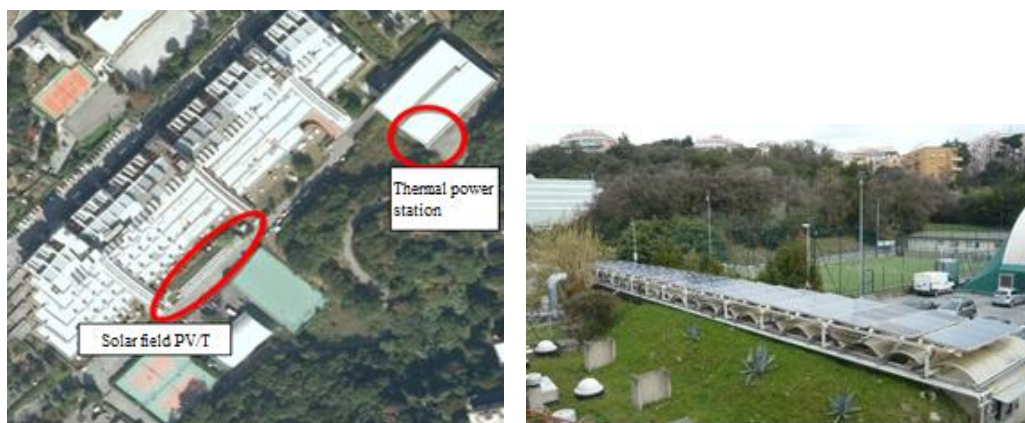


Fig. 6.3 - L'impianto pilota PalaCus dell'Università di Genova: vista aerea e il campo FV/T con il centro sportivo sul retro (edificio a strisce grigie e bianche)

Segue una breve descrizione di ogni parte principale del sistema.

Il sistema W-SAHP-PVT (è una tecnologia promettente per superare i limiti operativi e gli svantaggi dei pannelli solari tradizionali, vale a dire elevate perdite termiche dei pannelli, una ridotta efficienza di assorbimento di energia e non più del 20% della copertura delle esigenze degli utenti (nel caso in cui sia richiesto per il riscaldamento)).

Con la soluzione W-SAHP-PVT la temperatura del pannello è molto bassa e vicina alla temperatura dell'ambiente; questo si traduce in alta efficienza del pannello. L'elevata copertura della domanda degli utenti può raggiungere il 70% delle esigenze totali degli utenti dell'edificio. Allo stesso tempo, il consumo globale di energia elettrica annua della pompa di calore, particolarmente elevato nella stagione invernale quando è maggiormente necessaria, viene fornito dalla produzione annuale di energia delle celle fotovoltaiche, in modo che anche l'equilibrio energetico netto del sistema sia positivo.

Un altro vantaggio è che è possibile regolare molto facilmente la temperatura di funzionamento sia dell'evaporatore che del condensatore ed inoltre utilizzare un by-pass per arrestare la pompa di calore quando la temperatura dei pannelli solari è sufficientemente elevata per fornire direttamente gli utenti finali. Il livello di complessità del sistema e la quantità di componenti da gestire quando l'innovativo W-SAHP-PVT deve essere integrato nei sistemi esistenti con caldaie per RISC e ACS, è molto elevato. Tale sistema è difficilmente realizzabile nelle applicazioni di smart buildings e può essere superato solo con affidabili sistemi di controllo in remoto.

Per quanto riguarda l'impianto pilota PalaCus, è stato dimostrato che, anche se l'impianto è nella fase di rodaggio, è già possibile ottenere prestazioni soddisfacenti, con una copertura della domanda di RISC + ACS fino al 53% con energia solare e costi stimati per lo sfruttamento dell'energia solare di circa 40 c €/kWh (sulla base di 10 anni di

funzionamento). Tali risultati ovviamente dipendono fortemente dall'ambiente e dal clima locale e alcune questioni aperte devono ancora essere approfondite sulle impostazioni di automazione, la stabilità di funzionamento e la manutenzione.

6.1 Progettazione e descrizione dei componenti

Il campo solare

Il campo dei pannelli PV/T è composto da 80 moduli ibridi, con una metratura netta captante di 120 m^2 con orientamento sud ovest, a cui corrisponde una totale potenza di picco di circa 20kW_E (elettrici) e 60kW_T (termici). L'impianto è suddiviso in 20 file, con 4 moduli su ogni fila, ed è stato installato sopra a delle strutture esistenti precedentemente utilizzate come deposito di gas compressi (si veda Fig. 6.2 (b)).

La connessione idraulica ed elettrica con la centrale termica avviene attraverso una linea passante all'interno di una intercapedine situata nelle aree in prossimità del campo solare.

I moduli FV sono connessi a due gruppi di inverter solari (Danfoss), connessi con la rete elettrica nazionale da un contatore bidirezionale e che trasformano la corrente elettrica continua prodotta dall'impianto in corrente alternata. In Italia è disponibile un apposito contratto di scambio elettrico, per utilizzare la connessione alla di rete come un accumulo elettrico virtuale per un riferimento di tempo di un anno di funzionamento dei pannelli FV. Il saldo netto deve essere sempre negativo per l'utente finale.

Il pannello ibrido è realizzato con 60 celle ad alta efficienza in silicio policristallino. L'efficienza del modulo fotovoltaico refrigerato è 14,4%, mentre la singola cella che lo compone si attesta su valori più elevati (16,1%). La potenza massima prodotta è di 235 W, per la quale è prevista dal costruttore una sola tolleranza positiva 0/+5 W. Il dispositivo è inoltre caratterizzato da elevata stabilità delle prestazioni elettriche nel tempo (garanzia di potenza non inferiore al 90% in 10 anni e 80% in 25 anni), e da eccellente comportamento anche alle basse insolazioni.

La potenza termica ottenibile dal sistema dipende dal gradiente di temperatura, dalla temperatura dell'ambiente, dalle condizioni di irraggiamento e da altri fattori; essa è pari a circa 500 Wt a modulo (area totale $1,6 \text{ m}^2$).

Volani termici

Nel sistema SAHP sono inclusi due volani termici, uno lato pannelli (evaporatore) e uno lato utenza (condensatore), allo scopo di mantenere un'appropriata portata alla pompa di calore, regolare le temperature e marginalmente offrire un accumulo termico. Ogni volano termico è costituito da un miscelatore di un volume totale di 500 litri.

Le portate vengono miscelate al suo interno, ottenendo così un disaccoppiamento idraulico tra il circuito acqua della pompa di calore e rispettivamente il circuito solare e il circuito di distribuzione dell'acqua alle utenze. Infatti la pompa di calore necessita prevalentemente di una portata costante, essendo le pompe di circolazione della pompa di calore a portata fissa, mentre le portate ai pannelli e quelle all'utenza sono continuamente variabili durante il giorno.

Per quanto riguarda le temperature si sfrutta la stratificazione (per quanto possibile) per migliorare l'efficienza di trasferimento di calore per entrambi i serbatoi termici.

Pompa di calore

Un elemento chiave del sistema è l'HP, un'unità esterna con compressori ermetici scroll. In condizioni nominali, la pompa di calore ha una capacità di refrigerazione sul lato dell'evaporatore di circa 50 kW_F , contro un potere nominale di 12 kW_E assorbito al compressore, con un COP variabile a seconda delle temperature di lavoro dell'acqua, nell'intervallo $T_{\text{out, ev}} = -8 \div 18^\circ \text{C}$, $T_{\text{out, cond}} = 25 \div 60^\circ \text{C}$ e $\text{COP}_{\text{PDC}} = 2 \div 7$.

L'utilizzo di pannelli solari come sorgente di calore per la pompa di calore aumenta la temperatura media di funzionamento sul lato dell'evaporatore, aumentando così lo SCOP (Seasonal COP), che varia anche in base alla temperatura di funzionamento del volano termico, lato condensatore. L'utilizzo dei volani termici consente una corretta regolazione della parte solare e delle temperature di lavoro lato utente, mantenendole nell'intervallo operativo della pompa di calore.

Circuito di by-pass

Un componente molto importante dell'impianto è il ciclo di by-pass (mostrato nelle FIG. 6.1), utilizzato per sfruttare direttamente l'energia termica solare senza l'uso della PDC, ogni volta che le temperature dei pannelli solare lo consentono. Questa opzione, utilizzata in estate, aumenta notevolmente la SCOP su base annuale.

Infatti la superficie totale PST è molto grande (perché è progettata per soddisfare il fabbisogno di energia termica invernale) e pertanto è abbastanza sufficiente per coprire le necessità di acqua calda (ACS) in estate, anche con efficienza del pannello termico molto bassa (che difficilmente raggiunge il 40%).

Il circuito di by-pass può essere attivato se la temperatura dell'acqua dai moduli PV/T è superiore alle temperature delle utenze (circa 50°C), a seconda dell'effettivo isolamento e della temperatura ambientale esterna. L'arresto del by-pass (con accensione simultanea della PDC) si verifica se la temperatura del volano termico lato dell'evaporatore rimane inferiore a 50°C per un periodo superiore a una determinata durata (tipicamente 30 minuti), garantendo così una temperatura adeguata per gli utenti del servizio ACS (acqua calda sanitaria). A causa delle grandi difficoltà evidenziate durante il funzionamento di questo sistema, dovuti alla necessità di un corretto controllo dinamico e di mantenere i limiti di lavoro PDC, è comunque necessario utilizzare il riscaldatore di backup, la caldaia a gas ACS.

Caldaie ACS e Riscaldamento

La nuova SAHP è abbinata a circuiti acqua preesistenti delle caldaie a gas, utilizzate in passato come unico mezzo per coprire i fabbisogni di riscaldamento dei locali e dell'acqua calda sanitaria del centro sportivo. La caldaia a gas ACS ha una potenza termica nominale di $33,5 \text{ kW}_T$ (accoppiato a due serbatoi di acqua calda da 1500 litri) mentre la caldaia a gas per il riscaldamento ha una potenza termica nominale di 320 kW_T . Una corretta regolazione delle temperature dell'acqua di mandata (ACS e riscaldamento) è integrata nel sistema, richiedendo il supporto della caldaia a gas nel caso in cui il sistema SAHP non possa raggiungere le temperature richieste.

6.2 Controllo, ottimizzazione e monitoraggio del PalaCus

Il funzionamento di tutto il sistema dei componenti deve essere accuratamente collegato, quindi è necessario un sofisticato sistema di controllo. A questo scopo è stata progettata una unità di controllo dedicata, in grado di attivare anche la connessione remota e la gestione, come illustrato nei paragrafi seguenti.

Sistema di controllo

Il livello di complessità dell'impianto solare descritto è certamente accettabile per le applicazioni industriali, ma difficilmente realizzato nelle applicazioni civili e negli edifici intelligenti.

I problemi di monitoraggio e le scelte particolari fatte per il caso studio del centro sportivo sono di seguito descritte.

Quando l'innovativo W-SAHP deve essere integrato con le caldaie esistenti per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, ci sono inevitabilmente problemi di controllo da affrontare a causa della quantità di componenti da gestire e della complessità del sistema. Infatti, dopo più di un anno di funzionamento, è stato possibile vedere che l'impianto completo era attivo non più di 1000 ore, a causa del continuo intervento manuale degli utenti finali e degli operatori tradizionali di manutenzione. Questi ultimi non avevano esperienza con questo tipo di impianti ed erano preoccupati soprattutto del comfort degli utenti, quindi hanno girato spesso l'impianto in modalità di funzionamento manuale.

I problemi di cui sopra sono stati superati con l'introduzione di un sistema integrato di controllo intelligente, in grado di gestire nel suo complesso tutti i quattro sottosistemi (DHW, SH, W-SAHP, pannelli solari PV/T con by-pass).

E' stata inclusa anche un'applicazione web con l'introduzione di un sistema integrato di controllo intelligente, in grado di gestire nel suo complesso tutti i quattro sottosistemi (DHW, SH, W-SAHP, pannelli solari ibridi PV/T con by-pass). È stata inclusa anche un'applicazione web per il monitoraggio e il controllo, coinvolgendo nel progetto anche una PMI (Piccola Media Impresa) con competenze in questo campo. Il risultato di questa integrazione dei processi viene riportato come esempio in figura 6.4, con riferimento alla configurazione finale del ciclo secondario ACS (DHW). La nuova configurazione dell'impianto è in funzione da novembre 2016.

6.2.1 Controllo, ottimizzazione e monitoraggio del PALACUS

Il funzionamento di tutti i componenti del sistema deve essere accuratamente abbinato, quindi è necessario un sofisticato sistema di controllo. A questo scopo è stata progettata una dedicata unità di controllo, in grado di attivare anche la connessione e la gestione in remoto, come illustrato nelle sezioni seguenti.

Sistema di controllo

L'esperienza fornita da questo progetto pilota ha permesso di osservare che, per poter abbinare al meglio gli impianti vecchi a quelli nuovi, l'unica soluzione affidabile per gestire l'elevato livello di complessità dell'impianto è l'utilizzo di un sistema di controllo intelligente remoto. Questa è l'unica soluzione che rende l'utente finale in grado di superare le difficoltà di gestione e controllo.

Sono state individuate diverse modalità di funzionamento, a seconda della stagione e delle condizioni ambientali di funzionamento:

- Solo Acqua calda sanitaria senza W-SAHP (estate, con by-pass ON)
- Solo riscaldamento senza W-SAHP (inverno, senza acqua calda sanitaria)
- Acqua calda sanitaria + Riscaldamento senza W-SAHP (autunno e primavera, come stagioni intermedie con by-pass ON)
- Acqua calda sanitaria + Riscaldamento + W-SAHP (inverno e stagioni intermedie con by-pass OFF)
- Acqua calda sanitaria + W-SAHP (stagioni estive e intermedie, con by-pass OFF e senza richiesta di riscaldamento)

Il sistema nel suo complesso è gestito da un'unità di controllo organizzata in 11 pannelli di controllo, in cui i pannelli solari ibridi collegati al circuito termico, all'impianto fotovoltaico, al circuito primario riscaldamento, al circuito di distribuzione ACS e Riscaldamento, lo schema funzionale dell'acqua (ACS) e il circuito di riscaldamento sono rappresentati con diagrammi funzionali ad hoc, da cui è possibile controllare tutti i componenti e dal quale possono essere fissati tutti i set-point.

Le seguenti figure 6.4 mostra, ad esempio, due degli 11 pannelli di controllo sviluppati, quello relativo ai pannelli solari PV (Fig. 6.4) e quello relativo al circuito primario di riscaldamento (Fig. 6.5).

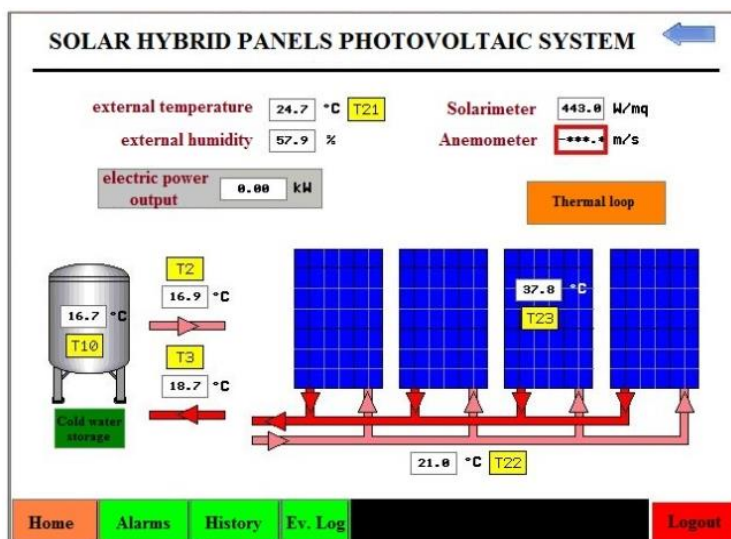


Fig. 6.4 - Pannello di controllo PV/T

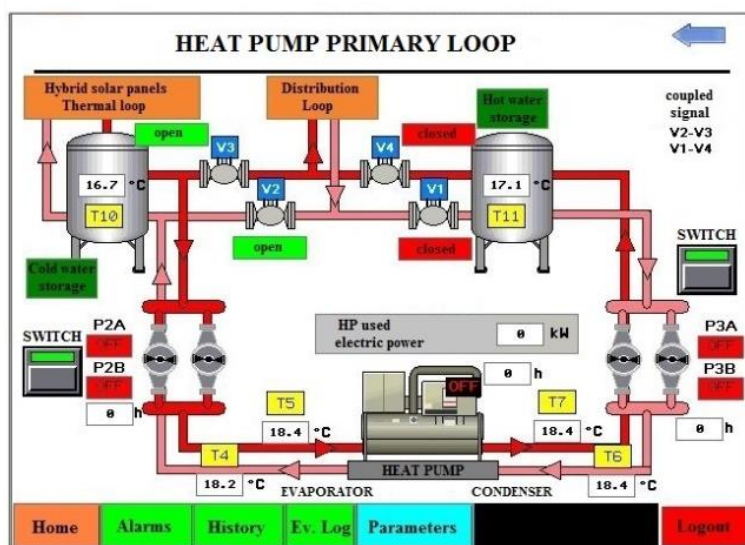


Fig. 6.5 - Pannello di controllo del circuito primario acqua di riscaldamento

Pertanto, il sistema può funzionare con W-SAHP off, o bypass on/off o integrando gli scambiatori di calore di ACS o del riscaldamento. In questo modo il riscaldamento e l'ACS sono considerati distinti dalla parte W-SAHP ed è in questo modo possibile specificare tutti i parametri di controllo dal touch screen, o in remoto tramite un'applicazione web.

Il sistema di controllo consiste nella gestione di 2 caldaie, 1 pompa di calore, 10 pompe di circolazione, 8 valvole di controllo, in totale con più di 45 punti di misurazione. Il monitoraggio avviene utilizzando i vari sensori di temperatura posizionati in diversi punti del circuito di riscaldamento, secondo i quali sono state formulate delle regole per controllare, alternare e sincronizzare i vari componenti del sistema di impianto.

Difficoltà riscontrate

Il livello di complessità dell'impianto solare descritto è certamente accettabile per le applicazioni industriali, ma difficilmente integrabile nelle applicazioni civili e nelle abitazioni. I problemi di monitoraggio e le scelte particolari fatte per il caso studio per il centro sportivo vengono di seguito descritte.

Quando l'innovativo W-SAHP deve essere integrato con le caldaie esistenti per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, vi sono inevitabili problemi di controllo da affrontare, a causa della grande quantità di componenti da gestire e della complessità del sistema.

Dopo più di un anno di funzionamento, è stato possibile riscontrare che l'impianto completo era attivo per non più di 1000 ore, a causa del continuo intervento manuale degli utenti finali e degli operatori per la manutenzione ordinaria (accensione e spegnimento) della caldaia. Infatti quest'ultimo non avendo esperienza con questo tipo di impianti e preoccupandosi soprattutto del comfort delle utenze, convertiva spesso l'impianto in modalità di funzionamento manuale.

I problemi di cui sopra sono stati superati con l'introduzione di un sistema di controllo intelligente e integrato, in grado di gestire nel suo complesso tutti i quattro sottosistemi (ACS, Riscaldamento, W-SAHP, pannelli solari PV/T con by-pass).

E' stata inclusa anche un'applicazione web per il monitoraggio e il controllo, coinvolgendo nel progetto anche una PMI (Piccola Media Impresa) specializzata nel settore.

Uno schema funzionale di una parte di impianto, risultato di questo intervento di integrazione, viene riportato ad esempio in figura 6.6, con riferimento alla configurazione finale del circuito secondario ACS.

La nuova configurazione dell'impianto è in funzione dal novembre 2016.

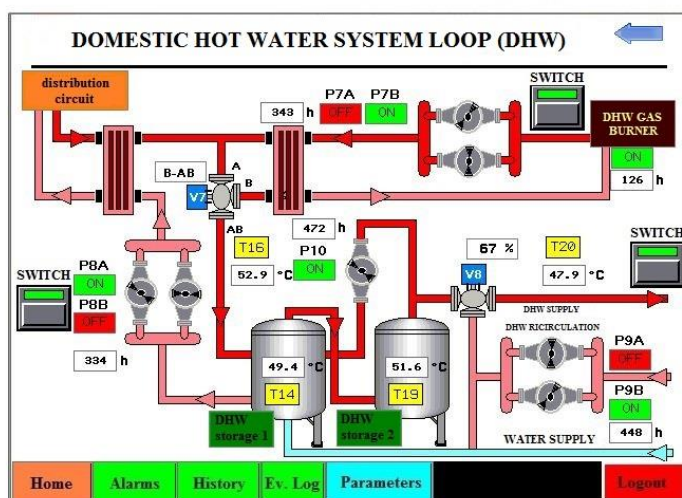


Fig. 6.6 - Il pannello di controllo del circuito acqua dell'acqua calda sanitaria

Note tecniche del sistema di Regolazione

Nell'impianto sono presenti tre principali tipologie di sistemi di regolazione:

- di portata sulla pompa di circolazione del circuito dei moduli,
- sull'accensione della pompa di calore,
- sull'attivazione del circuito di by-pass.

I principali parametri di controllo per effettuare queste regolazioni sono:

- la temperatura dell'accumulo freddo ($T_{acc,f}$),
- la temperatura dell'accumulo caldo ($T_{acc,c}$),
- la temperatura del fluido in uscita dal campo PV/T ($T_{out,p}$),
- la temperatura di ingresso all'accumulo freddo lato pannelli ($T_{in,acc,f}$),
- la temperatura di uscita dall'accumulo freddo lato pannelli ($T_{out,acc,f}$).

I segnali provenienti dai sensori di ogni parametro di controllo vengono inviati ad un PLC che effettua la regolazione su ogni componente.

Sistemi di controllo in generale dell'impianto.

- **Controllo sulla pompa di circolazione del campo PV/T**

Sulla pompa di circolazione si hanno due controlli. Un controllo on-off dove vengono confrontate la $T_{out,p}$ e la $T_{acc,f}$: se la temperatura di uscita del fluido dal campo PV/T è maggiore della temperatura dell'accumulo freddo si ha l'attivazione della pompa di circolazione, in caso contrario si ha la disattivazione. Il secondo controllo consiste in una regolazione della portata, mediante un inverter che alimenta la pompa, in modo da mantenere la differenza di temperatura tra ingresso del volano termico ($T_{in,acc,f}$) e temperatura di uscita ($T_{out,acc,f}$) di tre gradi, il controllo che effettua questa regolazione è un proporzionale integrativo.

- **Controllo sulla pompa di calore**

Sulla pompa di calore si ha un segnale di on-off basato su quattro logiche. Si ha lo spegnimento della pompa di calore nel caso in cui la temperatura del volano freddo ($T_{acc,f}$) superi i 25°C oppure quando la temperatura del volano caldo ($T_{acc,c}$) sia maggiore di 60°C.

Si ha l'attivazione della pompa di calore quando, nel caso in cui sia attivo il circuito di bypass, la temperatura dell'accumulo freddo sia inferiore ai 50°C per un tempo che supera i 30 minuti.

Ultimo controllo si ha in base alla richiesta dell'utenza, se le pompe di circolazione di riscaldamento e acqua calda sanitaria non sono attive viene inviato il segnale di spegnimento alla pompa di calore.

- **Controllo attivazione/disattivazione circuito di by-pass**

L'attivazione del circuito di by-pass si ha quando la temperatura del volano freddo supera la temperatura del volano caldo ($T_{acc,f} > T_{acc,c}$); la disattivazione del circuito, invece, si ha dopo che la temperatura del volano freddo rimane sotto i 50°C per un tempo superiore ai 30 minuti.

Quando si ha l'attivazione del circuito la centralina invia il segnale di apertura alle valvole del circuito di by-pass (V01 e V03) e il segnale di chiusura alle valvole del circuito che dal volano caldo porta il fluido all'utenza (V02 e V04); la disposizione di queste valvole di intercettazione motorizzate sono indicate in figura 6.3 dx.

6.3 Sintesi di alcuni dati complessivi dell'impianto pilota

L'impianto pilota costruito al PalaCus, si basa su un'iniziativa di progetto cofinanziata dalla Regione Liguria e ha un costo complessivo di circa 260 k€. Il sistema integra la pompa di calore e i pannelli PV/T con le caldaie a gas esistenti per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria.

Esso ha una potenza nominale di 20kW_E e 60 kW_T, con 140 m² di PVT installati. Di seguito il riepilogo delle prestazioni energetiche attese e dei dati economici, sulla base dei risultati monitorati finora disponibili.

Tabella 6.1 - Dati principali dell'impianto pilota W-SAHP-PVT - PalaCus, Università di Genova

SPECIFICHE DEI COMPONENTI PRINCIPALI DEL SISTEMA	
Area delle superfici dei pannelli FV/T	140 m ²
Potenza di picco FV	20 kW
Inverter solari	2 x (10kW)
Potenza di picco dei pannelli solari termici ST	60 kW
Capacità frigorifera nominale PDC	50 kW
Consumo di potenza elettrica nominale PDC	12 kW
Potenza della caldaia a gas di back-up ACS	33.5 kW
Potenza della caldaia a gas di back-up per il RISC	320 kW
Pompe di circolazione a controllo	10 (gemellari)
Valvole di regolazione del flusso (3 vie)	6
Valvole di controllo by-pass (2 vie)	4
Valvole di controllo della temperatura dell'acqua (3 vie) (ACS, RISC)	2
	3
Misuratori di portata dell'acqua (circuiti solare, circuito acqua primario, ACS corrente)	
Sensori di temperatura	25
Contatore di energia solare	1
Misuratore di vento	1
Serbatoi d'accumulo PDC	2 x 500 litri
Serbatoi d'accumulo ACS	2 x 1500 litri
Scambiatori di calore	4
PRINCIPALI DATI OPERATIVI E COSTI	
Fabbisogno di RISC del centro sportivo	240 MWh anno ⁻¹
Fabbisogno di ACS del centro sportivo	30 MWh anno ⁻¹
Energia termica fornita dalla PCEA-PVT agli utenti	92.5 MWh anno ⁻¹
Energia elettrica fornita dai pannelli solari FV	25 MWh _e anno ⁻¹
Consumi di energia elettrica della pompa di calore PDCEA-FVT	14 MWh _e anno ⁻¹
Energia elettrica netta annua risparmiata (per altri usi finali o per il funzionamento della PDC)	11 MWh _e anno ⁻¹
Media del fabbisogno di energia termica coperto attraverso l'energia solare	38%
Totale risparmio energetico netto totale	9.4 toe anno ⁻¹
Costo complessivo di costruzione dell'impianto pilota	260 k€
Bilancio totale di risparmio annuo	6.5 k€ anno ⁻¹
Tempo di ritorno con il finanziamento dell'80%	7 anni
Media dei costi energetici per tep risparmiati	27 k€ tep ⁻¹

I dati riportati nella tabella 6.1 mostrano che l'impianto pilota attuale è certamente troppo complesso rispetto ai sistemi tradizionali di ACS e RISC (di acqua calda sanitaria e di riscaldamento), ma è già in grado di coprire oltre il 38% dei fabbisogni termici ACS e RISC degli utenti, **mediante l'energia solare** offrendo un importo netto aggiuntivo di 11 MWh_e all'anno di energia elettrica.

Supponendo di sfruttare anche questo surplus di energia per trasformarla in capacità di riscaldamento netto aumentando l'energia della PDC, con un COP medio di 3,0, la quantità totale di energia termica potrebbe essere di circa 126MWh all'anno, raggiungendo il 53% dell'energia totale del fabbisogno termico degli utenti (che ammonta a circa 270MWh all'anno) coperti da energia solare.

L'alto consumo di energia elettrica della pompa di calore in inverno può essere coperto dalla produzione PV/T durante l'estate, quando il bypass è attivo e la HP spenta, e viene così ridotto il consumo elettrico.

In tale modo, attraverso l'utilizzo di energia solare può essere quindi possibile coprire il 70% del fabbisogno di energia termica per ACS e riscaldamento, senza alcun ulteriore costo di energia elettrica.

Il costo dell'impianto, 260 k€, è ancora molto elevato (ma è un impianto pilota, con una grande ridondanza nei componenti del sistema di controllo e nel monitoraggio). Con riferimento a 10 anni di funzionamento, con un 10% dei costi di manutenzione all'anno, il riscaldamento totale ottenuto dall'energia solare è di 1260 MWh. Pertanto, il costo dell'energia solare risulta essere di circa 40 c€/kWh, che è certamente elevato ma abbastanza basso da prevedere possibili positivi sviluppi di questa applicazione, almeno nelle regioni climatiche miti.

Riconoscimenti

Il progetto pilota è stato costruito con un 80% di cofinanziamento da FSE Regione Liguria, Bando Azione 2.1 "Efficienza Energetica e Produzione di Energia da Fonti Rinnovabili – Enti Pubblici" – Posizione n.2.

Il presente lavoro è stato sviluppato con il PRIN 2015 MIUR grant 2015M8S2PA "Clean Heating and Cooling Technologies for energy efficient smart grid".

Bibliografia

- [1] M. De Rosa, G. Romano, C. Rossi, F. Scarpa and L. A. Tagliafico, Energy Procedia (2015).
- [2] L. A. Tagliafico, A. Arteconi, A. Marchitto, C. Saio, F. Scarpa, A pilot plant with hybrid PV/T panels: system integration of solar assisted heat pump with existing heating devices, 35th UIT Heat Transfer Conference (2017).

7 CASO DI STUDIO EDIFICI STORICI MILITARI – FORTE BEGATO

In questo capitolo viene presentato lo studio per la riqualificazione energetica del Forte Begato, un notevole esempio di costruzione militare ubicata a Genova.

Lo studio propone diverse soluzioni anche complementari di impianti che utilizzano fonti di energia rinnovabili e anche ipotesi per l'isolamento termico dell'edificio principale.

L'edificio è stato esaminato attraverso un modello di simulazione termoeconomica dinamica con Energy Plus.

Questo capitolo analizza inoltre i volumi presenti nel complesso del Forte, attraverso valutazioni tecniche rispetto all'idoneità o meno dei manufatti ad ospitare elementi tecnici, in relazione con le tecnologie di impianto proposte.

Descrizione dell'area

Il Forte Begato è situato sul crinale che sovrasta il paese di Begato (frazione del quartiere di Rivarolo), da cui prende il nome, e che scende lungo la Val Polcevera, raggiungibile dal Righi percorrendo via del Peralto e dal quartiere di Granarolo, prendendo la Via al Forte di Begato.



Fig.7.1 - Vista aerea del Forte Begato

Il Forte Begato fu costruito, probabilmente su mura di altre fortezze, lungo il ramo che dal Forte Sperone scendeva lungo il crinale della Val Polcevera. L'area fu racchiusa dalla linea spezzata di tre baluardi, uno dei quali con un angolo inferiore ai 90° dominava a monte e a valle un vastissimo arco di mura.

La caserma di Begato fu costruita su questo sito, a partire dal 1819 dal governo sabaudo, fino al termine dei lavori nel 1823 (Leone Carlo Forti, 1975).

Il Forte Begato è un edificio militare a pianta quadrata di tre piani più uno ammezzato, con un cortile interno e con quattro bastioni sugli spigoli, di cui uno diroccato. Il suo volume è essenziale e le sue proporzioni semplici. Sulle quattro fronti si distinguono ampie monofore delle cannoniere alternate alle sottili feritoie per i fucilieri.

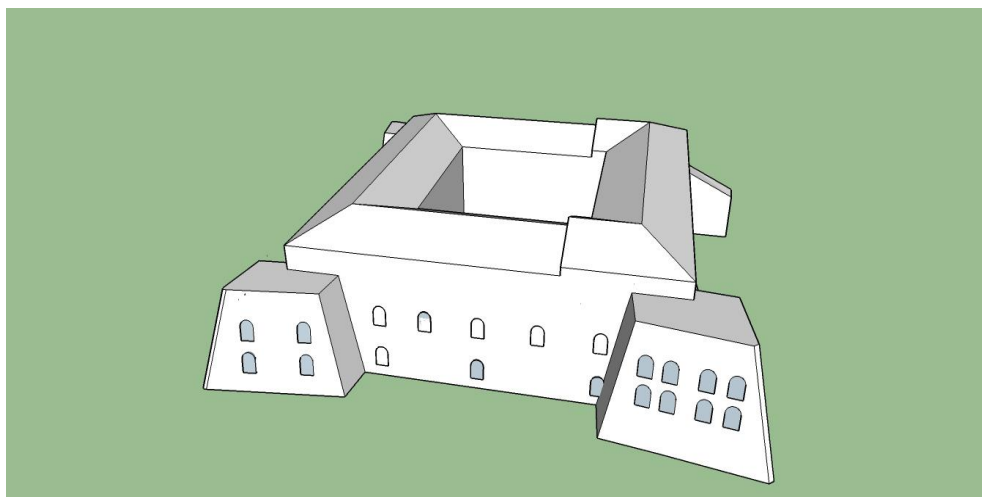


Fig.7.1 - Ricostruzione volumetrica 3D realizzata con Sketchup

Tra la fine del XX secolo e l'inizio del XXI secolo, il Forte Begato è stato ristrutturato, col contributo della Comunità Europea.

Il progetto di restauro, dell'Arch. Semino, "Restauro e risanamento conservativo di Forte Begato nel parco urbano delle mura" risale alla fine degli anni '90, ma la realizzazione si è conclusa solo negli anni 2000. Una parte dei finanziamenti sono fondi europei.

Gli edifici presenti nel complesso di Forte Begato, secondo le rispettive funzioni previste sono:

- L'ex foyer
- il ristorante
- il bar
- l'alloggio del custode
- l'ex caserma
- l'edificio per impianti tecnologici

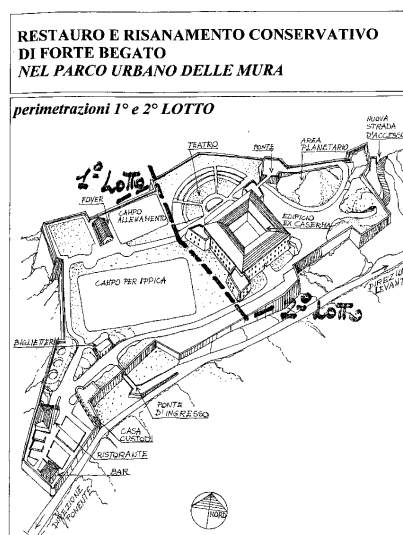


Fig. 7.2 - Progetto “Restauro e risanamento conservativo di Forte Begato nel parco urbano delle mura” dell’Arch. Semino

Attualmente è in itinere, da parte del Comune di Genova, un programma di valorizzazione del sistema delle fortificazioni di Genova, nel quale particolare rilevanza riveste il Forte Begato.

Il presente studio si inquadra in questo programma di valorizzazione, nella fattispecie per quanto riguarda la riqualificazione energetica.

Struttura dell'edificio

La struttura dell'edificio è in muratura di conci di pietra di spessore variabile, in particolare esso aumenta in prossimità dei bastioni agli angoli della fortificazione. Gli elementi architettonici perfettamente squadrati sono realizzati in muratura di blocchi di pietra di Finale. Il tetto è costruito con una struttura in legno e lastre di rivestimento in ardesia.

Il Forte conserva un po' dovunque alcuni particolari legati alla sua funzione di fortezza: le grate snodabili delle cannoniere, gli anelli e l'imbrigliamento dei pezzi d'artiglieria, i perni in ferro azzancati alla base delle feritoie per l'innesto delle mitragliere che dovevano difendere l'accesso; esistono ancora i resti della grande cappa della cucina, i servizi, le scale a chiocciola di soccorso e una lunga galleria sotterranea che porta direttamente all'esterno delle mura.

È inoltre presente una cisterna sotterranea a pianta rettangolare, suddivisa in sei settori il cui soffitto è voltato a botte e collocato interrato ai piedi del forte medesimo, orientato con il lato corto in direzione Est-Ovest ed il lato lungo in direzione nord-Sud.

Nell'area nord-est sono presenti dei locali tecnici, collocati in un'area già antropizzata e modernizzata con un edificio di più recente costruzione e il collocamento di parcheggi su un'area asfaltata. Quest'area verrà pertanto presa in considerazione per l'inserimento della centrale termica e il posizionamento dei pannelli solari. Da via al Forte di Begato passano le reti di illuminazione, gas, telefono, fognature e elettricità.

Nel seguito vengono descritte varie ipotesi di impianti che utilizzano fonti di energia rinnovabili, anche complementari fra loro, e sono illustrate delle soluzioni per l'isolamento termico, sia dell'involucro opaco che di quello trasparente.

7.1 Impianto pompa di calore che sfrutta una cisterna

L'opportunità di inserire una pompa di calore acqua/acqua, assume particolarmente importanza nel caso di interventi in edifici storici soggetti a restrizioni di tutela monumentale. Qui l'uso di energia rinnovabile richiede molto più sforzo progettuale poiché quasi tutte le più diffuse tecnologie sono inutilizzabili.

Anche se l'installazione di una pompa di calore è leggermente più costosa rispetto a quella di una caldaia tradizionale, ma considerato che in questo caso non si va a sostituire un impianto esistente, il maggior costo (circa 5÷15%) non dovrebbe costituire una pregiudiziale per un eventuale operatore economico interessato al sito.

Considerata la presenza della cisterna (capacità di circa 4500 mc) è stata individuata come soluzione ottimale quella della pompa di calore che sfrutta il bacino d'acqua esistente come volano energetico.

Inoltre la risorsa idrica non viene in alcun modo alterata, perché si tratta solo di uno scambio termico.

La cisterna di Forte Begato come volano termico estivo e invernale della pompa di calore

Nel caso oggetto di questo studio, la pompa di calore viene quindi accoppiata all'acqua della cisterna.

La soluzione proposta prevede l'installazione di una pompa di calore invertibile del tipo acqua-acqua nella centrale termica, che può essere utilizzata per il riscaldamento e il condizionamento estivo.

La disponibilità di acque superficiali con un'adeguata circolazione di rinnovo permette di prevedere livelli termici interessanti per la macchina. Nel circuito acqua di cisterna sono previsti due scambiatori a piastre, in titanio per resistere alla corrosione, che lavorano in alternativa per permettere una periodica pulizia senza interrompere il servizio.

L'impianto di climatizzazione è stato scelto per essere alimentato con acqua a bassa temperatura (40-45°C) in riscaldamento per permettere un uso soddisfacente della pompa di calore.

Nei locali tecnologici saranno collocati tutte le pompe, le reti di distribuzione e i serbatoi d'acqua. Sulla sommità dei locali tecnologici verrà installata una torre evaporativa per la pompa di calore.

La cisterna misura circa 27,53 mt in larghezza, 17,2 mt in lunghezza, con un'altezza di circa 9,10 mt misurata al culmine della volta del soffitto. Ciascun settore ha le dimensioni di mt 3,55 per mt 17,20.

Il livello dell'acqua rilevato al momento del sopralluogo nel settembre 2014 era di circa 7 mt e la temperatura di 12 gradi, dati considerati per il bilancio termico della cisterna.

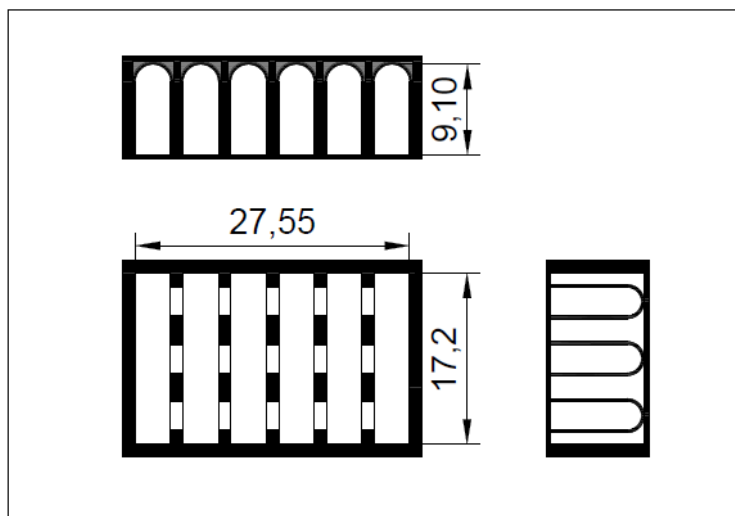


Fig. 7.3 - Pianta e sezioni quotate della cisterna sotterranea di Forte Begato.

Si sottolinea che non è conveniente dimensionare la pompa di calore per soddisfare tutte le richieste di energia termica di un edificio; conviene dimensionarla per il 60-70% del massimo carico (somma dell'energia termica per riscaldare l'intero edificio e l'acqua calda richiesta

dalle utenze), lasciando a un sistema supplementare le richieste occasionali. Così facendo, la pompa viene a fornire il 95% della totale energia termica utilizzata.

Ai fini di una corretta valutazione del dimensionamento della pompa di calore che utilizza l'acqua della cisterna sarebbe opportuno uno studio e un monitoraggio della variazione dell'acqua all'interno della cisterna e della sua temperatura nel corso dell'anno, in funzione delle precipitazioni atmosferiche.

Ad esempio, se si considera una temperatura costante dell'acqua della cisterna, sia in inverno che in estate, come quella rilevata nel mese di settembre 2014, equivalente a 12°C, il COP della pompa di calore misurerebbe circa 5, secondo le curve caratteristiche della pompa di calore.

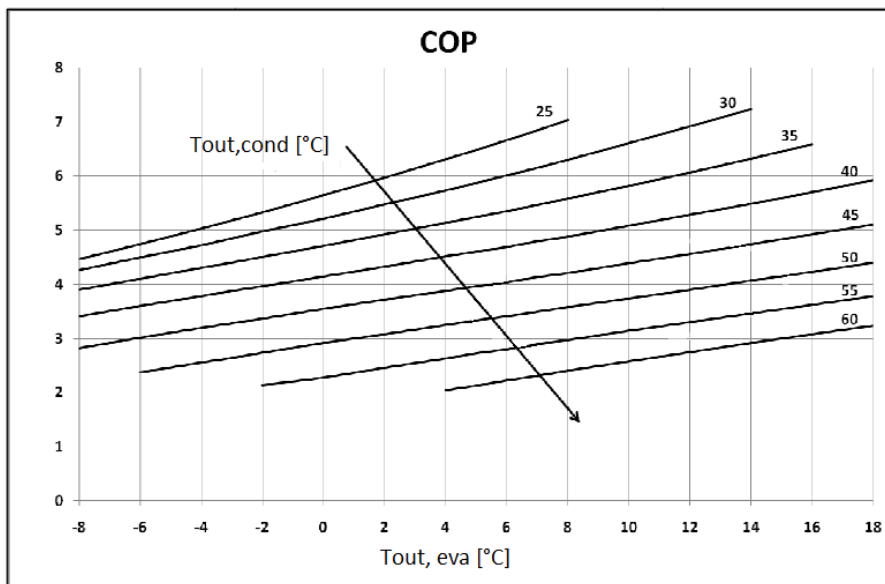


Fig. 7.4 - Curve caratteristiche di una pompa di calore. A parametro la temperatura di lavoro del condensatore.

La potenza utile richiesta dalla pompa di calore è uguale alla potenza elettrica erogata, ad eccezione potenza elettrica richiesta dagli ausiliari.

La seguente tabella riporta i dati del COP in base alle temperature del condensatore e dell'evaporatore.

Come si vede il COP della pompa di calore aumenta all'aumentare della temperatura in uscita all'evaporatore.

COP		$T_{out,cond}$							
		25	30	35	40	45	50	55	60
$T_{out,eva}$	-8	4,46	4,26	3,9	3,41	2,82	-	-	-
	-6	4,74	4,49	4,1	3,6	3,01	2,37	-	-
	-4	5,03	4,72	4,3	3,78	3,19	2,55	-	-
	-3	5,18	4,84	4,49	3,87	3,28	2,64	-	-
	-2	5,33	4,97	4,5	3,96	3,36	2,73	2,39	-
	0	5,64	5,21	4,71	4,14	3,54	2,91	2,28	-
	2	5,97	5,47	4,92	4,32	3,71	3,08	2,46	-
	4	6,31	5,73	5,13	4,51	3,88	3,25	2,63	2,04
	5	6,48	5,87	5,24	4,6	3,96	3,33	2,72	2,13
	6	6,66	6,01	5,35	4,69	4,04	3,41	2,8	2,22
	7	6,84	6,15	5,46	4,79	4,13	3,49	2,89	2,31
	8	7,03	6,3	5,58	4,88	4,21	3,58	2,97	2,4
	10	-	6,6	5,82	5,08	4,39	3,74	3,14	2,57
	12	-	6,91	6,06	5,28	4,56	3,9	3,3	2,74
	14	-	7,23	6,32	5,49	4,74	4,07	3,46	2,91
	16	-	-	6,58	5,7	4,92	4,23	3,62	3,08
	18	-	-	-	5,92	5,1	4,4	3,78	3,24

Tabella 7.1. Valori del COP della pompa di calore

La seguente figura 7.5 mostra la planimetria del complesso di Forte Begato con l'individuazione degli edifici (1), dei locali tecnici (2) e della cisterna sotterranea (3), collocata vicino all'edificio dell'ex caserma.

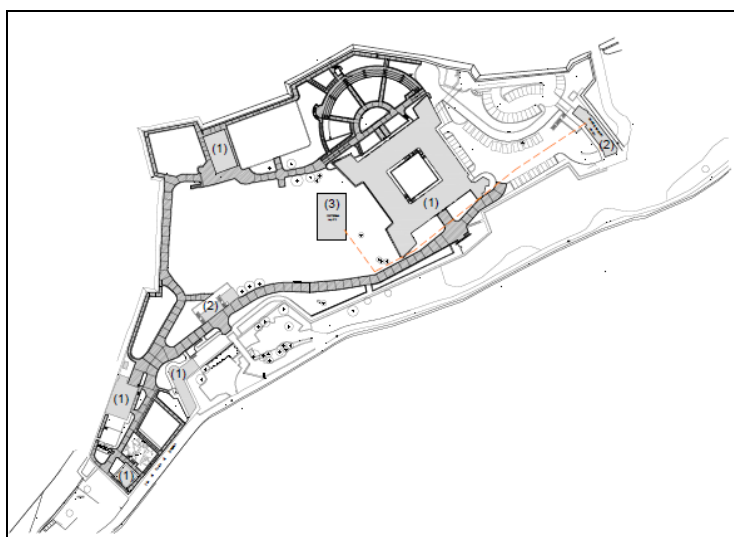


Fig. 7.5 - Planimetria del complesso di Forte Begato con gli edifici e la localizzazione della cisterna (3) che è sotterranea al prato antistante l'ex caserma

In tratteggio un'ipotesi del collegamento necessario per lo sfruttamento della cisterna come accumulo.

Di seguito vengono riportati i dati dell'edificio di Forte Begato e uno studio per l'utilizzo della cisterna come volano termico della pompa di calore nel periodo invernale e in quello estivo. Per il calcolo del bilancio termico della cisterna abbinata alla pompa di calore si possono ipotizzare diverse condizioni al contorno (cisterna adiabatica, chiusa o aperta) al fine di semplificare i calcoli.

Dati di progetto:

Superficie coperta: 4150 mq
 Superficie utile: 6445 mq
 Volume edificio: 19287 mc
 Volume dell'acqua della cisterna 4500 mc

PERIODO INVERNALE:

Potenza utile per il funzionamento della pompa di calore in modalità invernale

$$P_{el,ut} = P_{el} - P_{el, aus}$$

$$P_{el,ut} = Q_{cond} / COP$$

$$POTENZA DI PICCO: 19287 * 0,05 kW = 964 \text{ kW}_H$$

$$POTENZA MEDIA \approx 482 \text{ kW}_H$$

Giorno di utilizzo 166

Ore giorno di riscaldamento: 12 h/g

TOTALE ENERGIA CONSUMATA

$$P * n^{\circ} \text{ giorni} * H / \text{giorno} = 482 \text{ kW}_H * 166 \text{ g} * 12 \text{ h/gg} = 581038 \text{ kWh} = 2091736800 \text{ kJ}$$

PERIODO ESTIVO:

Potenza utile per il funzionamento della pompa di calore in modalità estiva

$$P_{el,ut} = P_{el} - P_{el, aus}$$

$$P_{el,ut} = Q_{evap} / COP$$

$$POTENZA DI PICCO: 0,03 * 19287 = 578,6 \text{ kW}_F$$

$$POTENZA MEDIA \approx 289 \text{ kW}_F$$

giorni di utilizzo: 92 gg

ore giorno di raffrescamento giornaliero: 12 ore/gg

TOTALE ENERGIA CONSUMATA

$$E_F = P_F * gg * \text{ore} / \text{giorno} = 289 \text{ kW}_F * 92 \text{ gg} * 12 \text{ ore/gg} = 319392 \text{ kWh}_F = 1149811200 \text{ kJ}$$

Per il caso estivo si ipotizza inoltre l'inserimento di una pompa di calore sul tetto dell'edificio esistente con i locali impianti.

Ipotesi di CISTERNA CHIUSA ADIABATICA

$$E_T = 747049 \text{ kWh}$$

$$\text{COP}_F = E_F / P_{EL} \approx 3.5 \text{ (valore medio prudenziale)}$$

$$E_{EL} = E_T - E_F = (\text{bilancio PdC}) = E_F / \text{COP} \rightarrow E_T * \text{COP} = E_F + E_F * \text{COP} = E_F (1 + \text{COP}_F)$$

$$E_F = E_T + \text{COP}_F / (1 + \text{COP}_F) = 747049 \text{ kWh} * 3.5 / 4.5 = 581038 \text{ kWh}_F$$

$$\text{COP} \approx 4 = E_F / E_{EL} \quad P_{EL} = E_F / \text{COP}_F = 319392 / 4 = 79848 \text{ kWh}_E$$

$$E_H = E_F + P_{EL} = (319392 + 79848) = 399240 \text{ kWh}_H$$

BILANCIO CISTERNA

$$M c_p \Delta T = E_F$$

$$\Delta T = -E_F / M c_p$$

$$M = 4500000 \text{ kg}$$

$$c_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$$

$$\Delta T = \frac{Q}{m c_p} = 61^\circ \text{C}$$

$$T_{in} = 14^\circ \text{C} \rightarrow T_{fin} = 75^\circ \text{C}$$

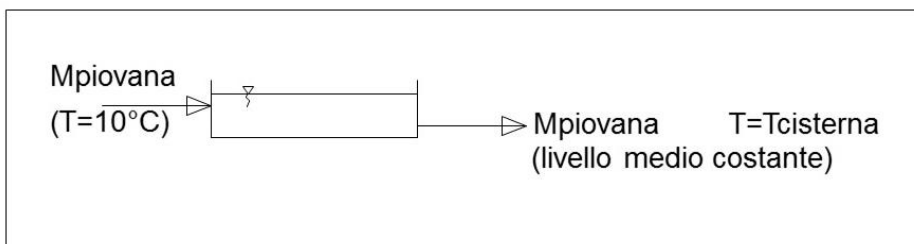
$$\Delta T = \frac{Q}{m c_p} = 111^\circ \text{C}$$

$$T_{in} = 75^\circ \text{C} \rightarrow T_{fin} = -36^\circ \text{C}$$

Si può aggiungere un sistema integrativo di riscaldamento per evitare di raffreddare eccessivamente l'acqua della cisterna durante l'inverno.

Schema generale idraulico della cisterna

La cisterna in esame è alimentata dall'acqua piovana



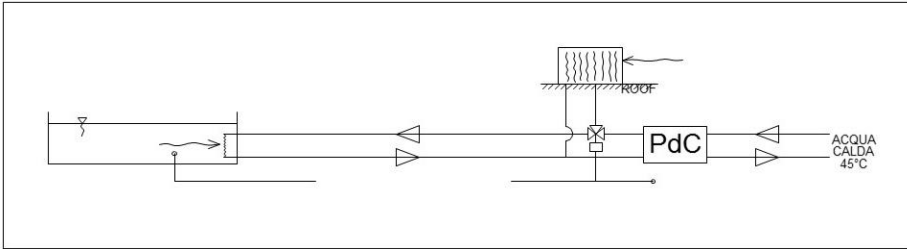
M_{in} piovana ($T=10^\circ \text{C}$)

M_u piovana (livello medio costante)

$T = T_{cisterna}$

$T_{aria} > T_{cisterna}$

Per migliorare il bilancio della cisterna si può aggiungere una pompa di calore con scambiatore sulla copertura dei locali tecnici, come mostrato nella seguente figura:



Calcolo della portata d'acqua delle precipitazioni

Secondo i dati di precipitazione cumulata nell'anno 2016, la quantità totale d'acqua per l'intero anno misura 770,8 mm.

Se si suddivide il calcolo per la stagione di riscaldamento e per quella di raffreddamento si ottiene una precipitazione cumulata di circa 469,4 mm nei mesi invernali e di circa 301,4 mm per i mesi estivi.

Considerando un pozzetto di area 1 m², la massa d'acqua totale nel periodo invernale sarà di circa 0,5 m³, mentre nella stagione estiva 0,3 m³.

Periodo di riscaldamento invernale

$$T_E = \frac{0,5 \cdot 12 + 4500 \cdot 4}{0,5 + 4500} = \frac{18006}{4500,5} = 4^\circ\text{C}$$

Periodo di raffreddamento estivo

$$T_E = \frac{0,5 \cdot 12 + 4500 \cdot (-5,3)}{0,5 + 4500} = \frac{-23844}{4500,5} = -5,3^\circ\text{C}$$

La quantità di pioggia entrante nella cisterna non altera in modo significativo la temperatura dell'acqua.

7.2 Impianto pompa di calore elioassistita

In alternativa alla soluzione pompa di calore con l'utilizzo della cisterna è stato effettuato uno studio circa il possibile utilizzo di una pompa di calore elioassistita.

Come descritto nel Cap. 3, la pompa di calore elio-assistita è un sistema integrato che vede l'utilizzo di una pompa di calore e di pannelli solari termici; normalmente queste due tecnologie vengono impiegate separatamente (o al più ponendole in parallelo) per produrre ACS (acqua calda sanitaria) e riscaldamento. In questo sistema, il pannello solare termico svolge la funzione di fonte di calore a bassa temperatura e il calore prodotto viene utilizzato per alimentare l'evaporatore della pompa di calore. Scopo di questo studio è quello di ottenere COP elevati e quindi produrre energia in modo più efficiente e meno costoso. L'obiettivo non è quello di coprire tutta la domanda di energia con l'impianto solare, ma quello di massimizzare l'effetto utile dell'investimento, ovvero dimensionare l'impianto solare in modo che il valore attuale netto della spesa e del beneficio sia massimo.

Nel caso in esame del Forte Begato verranno adoperati pannelli ibridi PVT (pannelli solari termici e fotovoltaici), che hanno lo scopo di produrre sia energia termica che elettricità e saranno inseriti attraverso una copertura integrata dei posti auto previsti negli spazi a monte del forte (come richiesto dalla Soprintendenza).

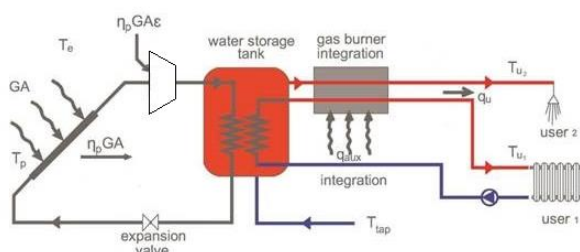


Figura 7.6 - Pompa di calore elio-assistita integrata con una caldaia di riserva

La centrale termica potrà invece essere collocata nell'edificio adiacente all'area per i parcheggi, con l'installazione dell'evaporatore della pompa di calore di calore sulla copertura dello stesso.

Si può in questo caso utilizzare l'esempio della palestra del PalaCus dell'Università di Genova, riportato nel cap 6, dove si è sperimentato un sistema che si avvale di una pompa di calore integrata con pannelli PV/T fotovoltaici e termici solari (sistema integrato pompa di calore elioassistita).

Quindi per quanto riguarda la descrizione dei componenti e il funzionale dell'impianto si rimanda all'esempio del PalaCus riportato nel Cap. 6 (Fig. 6.1)

Al riguardo viene anche evidenziata la complessità di tale impianto e la necessità del suo monitoraggio, ai fini di un corretto funzionamento e di un'ottimizzazione dell'intero sistema, attraverso le molteplici letture delle sonde dei diversi componenti e dei relativi consumi.

L'impianto a pompa di calore è in questo caso abbinato ad una centrale solare costituita da pannelli ibridi, cioè pannelli fotovoltaici refrigerati ad acqua, per una produzione contemporanea di energia elettrica e calore.

Il campo fotovoltaico (da posizionare sulle pensiline dei parcheggi, come descritto al punto 7.3 per i pannelli fotovoltaici) garantisce la copertura dei fabbisogni elettrici della pompa di calore stessa (compressore) e di tutti gli ausiliari (pompe, valvole elettroniche, centraline), producendo anche un surplus di energia elettrica per le utenze delle utenze presenti nell'edificio. Tale copertura energetica non è fatta in termini di potenza istantanea, ma di valori integrati medi su base annua. Come nel caso del PalaCus, gli alti consumi elettrici della pompa di calore per il riscaldamento invernale sono bilanciati dall'elevata produzione dei pannelli fotovoltaici nel periodo estivo. La chiave di questa tecnologia è la possibilità di stipulare contratti di fornitura elettrica basati sulla contabilizzazione con "scambio sul posto" come normalmente previsto dalla normativa italiana.

La produzione di energia elettrica serve a soddisfare il fabbisogno di riscaldamento ed acqua calda sanitaria, mediante l'uso della pompa di calore.

L'evaporatore (lato freddo) e il condensatore (lato caldo) sono connessi rispettivamente al circuito solare e all'utenza tramite i due volani termici da 500 litri, in modo da regolarizzare il funzionamento della macchina.

La pompa di calore trasferisce il calore dal "volano freddo" al "volano caldo" e di conseguenza alle utenze, apportando un'integrazione per soddisfare a pieno la richiesta.

7.2.1 Confronto tra tipologie di impianto

Rispetto all'impianto tradizionale, la soluzione con pompa di calore abbinata alla cisterna permette un risparmio sul consumo energetico per la climatizzazione decisamente superiore al 20% e quindi anche una corrispondente riduzione di emissione di gas clima-alteranti. Netto risulta pure il vantaggio rispetto all'impiego di una eventuale pompa di calore aria-acqua. Il limite delle tecnologia l'impianto pompa di calore che usa l'acqua della cisterna risiede nel fatto che è economicamente appetibile solo in presenza di terminali a bassa temperatura.

Per quanto riguarda la scelta della tipologia di pompa di calore, in base al fluido al quale il refrigerante cede il calore di condensazione, bisognerà adattare il condensatore. Infatti nel caso di aria lo scambio termico è molto sfavorito perché il coefficiente di scambio termico dell'aria è molto inferiore a quello dell'acqua, per cui si avrà un condensatore più grande e di tipologia idonea.

Inoltre, nel caso in cui si scelga la soluzione che impiega l'acqua della cisterna, non occorre l'inserimento di volani termici freddo per l'inverno e caldo per l'estate (ingombranti serbatoi di accumulo), che nel caso della soluzione pompa di calore elio-assistita con pannelli solari ibridi hanno lo scopo di mantenere costante la portata alla pompa di calore. Questo perché in considerazione della grande quantità d'acqua presente nella cisterna, viene sfruttata l'inerzia termica e regolarizzata la portata.

Considerando altre soluzioni, quali la geotermia, l'uso delle acque di falda potrebbe non essere permesso per pericolo di subsidenza. Inoltre l'installazione di una pompa di calore geotermica, a causa della significativa potenza della macchina prevista, richiede per la costruzione dello scambiatore con il terreno la disponibilità di un'area vasta.

7.3 Impianto fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico può essere considerato come complementare ai sistemi con pompe di calore descritti ai punti 7.1 e 7.2.

Individuata la giusta posizione, secondo quanto descritto nel cap. 9.2 Linee guida per l'integrazione degli impianti che utilizzano fonti di energia rinnovabili nel paesaggio e nell'architettura, l'impianto di pannelli solari deve integrarsi alla falda di copertura, la sua superficie non deve risultare prevalente rispetto alla superficie della falda, mentre i contenitori di accumulo dell'acqua calda dell'impianto solare termico saranno sempre collocati all'interno dell'edificio.

Nel caso si volessero impiegare delle serre negli ambiti agricoli in aree limitrofe al sistema dei forti, si potranno inserire anche dei pannelli fotovoltaici integrati alle coperture o alle pareti delle serre, sempre secondo i metodi riportati nelle linee guida al punto 9.2.

Nel progetto per il Forte di Begato, i pannelli fotovoltaici saranno inseriti sulla copertura di una pensilina dei posti auto previsti negli spazi a monte del forte, come richiesto dalla Soprintendenza. Nel seguito di questo capitolo verrà inoltre descritto come inserire i pannelli fotovoltaici integrati sulle strutture di copertura dei posti auto a raso per raggiungere il miglior compromesso tra un alto rendimento e la soluzione di minor impatto dal punto di vista paesaggistico.

Pannelli fotovoltaici

Vengono di seguito elencati alcuni esempi di pannelli fotovoltaici attualmente in commercio e che possono essere installati sulle pensiline dei posti auto, nella riqualificazione energetica del complesso di Forte Begato:

- pannelli **policristallini** e **monocristallini**, con potenze di picco **tra 230 e 245 Wp**:
 altezza di 160 – 170 cm
 larghezza di 90 – 100 cm
 spessore di 4 – 5 cm
- pannelli **monocristallini compatti**, con potenze di picco **tra 190 e 200 Wp**:
 altezza di 130 – 140 cm
 larghezza di 90 – 100 cm
 spessore di 4 – 5 cm
- pannelli a **film sottile**, con potenze **tra 77,5 e 87,5 Wp**:
 altezza di 120 cm
 larghezza di 60 cm
 spessore di 0,6 – 0,7 cm

Progetto FV - pannelli ibridi (PVT)

Il progetto per l'inserimento dei pannelli fotovoltaici (PV) e ibridi (PVT) prevede l'installazione di questi su pensiline che svolgeranno la funzione di copertura per i parcheggi sottostanti. I parcheggi saranno previsti nell'area più antropizzata negli spazi a monte del forte, come richiesto dalla Soprintendenza.

I pannelli fotovoltaici/ibridi saranno quindi integrati alle pensiline, la cui copertura sarà inclinata di 30 gradi, verso sud (sud-ovest e sud-est), per sfruttare la maggiore incidenza dei raggi solari (Francesco P. Vivoli, et al., 2008).

Il campo fotovoltaico garantisce la copertura dei fabbisogni elettrici della pompa di calore stessa (compressore) e di tutti gli ausiliari (pompe, valvole elettroniche, centraline), producendo anche un surplus di energia elettrica per le utenze dell'albergo.

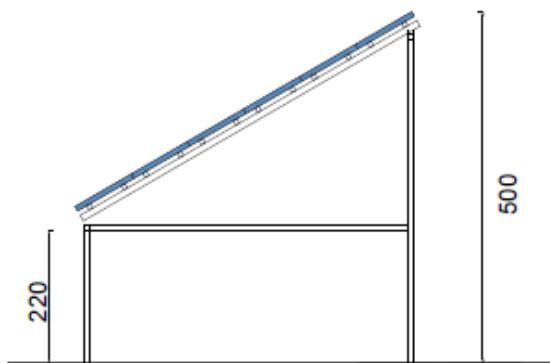


Figura 7.7 - Prospetto laterale del progetto della pensilina fotovoltaica

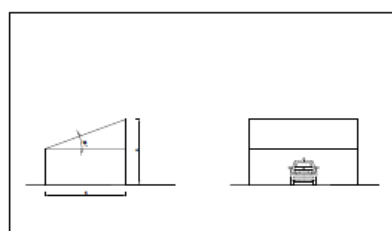
Come visibile in figura l'altezza minima della pensilina misura 2 m e l'altezza massima 5 m.



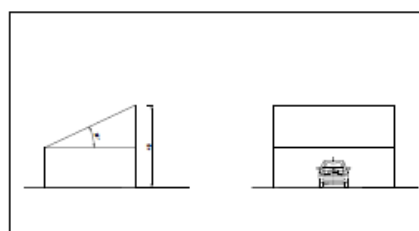
Figura 7.8 - Planimetria complessiva del progetto delle pensiline con copertura integrante i pannelli fotovoltaici dei parcheggi

Studio dell'inclinazione pannelli fotovoltaici

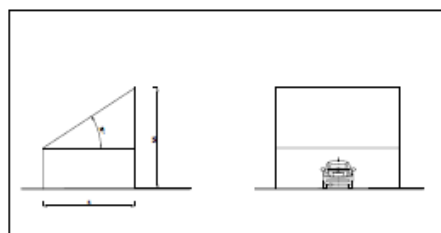
L'inclinazione ottimale dei pannelli è di 30° circa. Di seguito vengono evidenziate le differenze dei rendimenti relativamente all'inclinazione adottata.



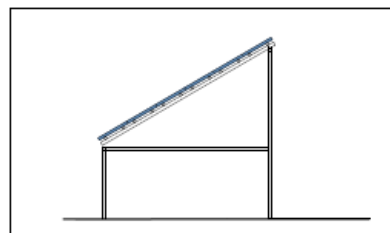
$\eta=9,6\%$



0 $\eta=9,9\%$



$\eta=15\%$



7.4 Impianto micro-eolico

Nel caso dei Forti di Genova, data la loro forma geometrica articolata e i vincoli paesaggistici che impediscono l'inserimento di pannelli fotovoltaici sulle facciate e sulle coperture degli edifici, può essere conveniente la scelta dell'utilizzo del micro-eolico, in alternativa od in abbinamento ai pannelli solari (termici, fotovoltaici, ibridi), per convertire l'energia cinetica del vento in energia elettrica.

La scelta deve essere effettuata in seguito allo studio dell'esposizione solare e degli ombreggiamenti sulle cortine murarie e sui bastioni, ed a rilevazioni di velocità del vento.

Ai fini di un'analisi di fattibilità per l'inserimento dell'eolico occorre verificare l'esistenza di eventuali vincoli sia di tipo naturalistico (migrazioni uccelli, ecc.) che paesaggistico (PTCP), oltre all'impatto acustico, estetico ed economico e alle caratteristiche statiche, dinamiche e prestazionali degli aerogeneratori.

In generale per l'ottimizzazione del rendimento energetico di tali impianti e degli spazi a disposizione, si consiglia di cercare di sfruttare le posizioni strategiche sulle mura esistenti, in modo da sovrastare gli alberi ed altri ostacoli al naturale flusso del vento o i lampioni lungo i percorsi pedonali.

Aerogeneratori micro-eolici possono essere installati all'interno di manufatti per nascondono la struttura e i componenti per i loro funzionamento (inverter, generatore, albero...), mentre la turbina sarà fuoriuscente, esposta al vento per sfruttarne la potenza.

Progetto di fattibilità installazione degli aerogeneratori

L'area in oggetto risulta in gran parte rientrare tra le aree non idonee all'installazione di impianti eolici di tipo industriale. L'area del Forte rientra infatti tra le aree escluse da questo tipo di installazione per i particolari vincoli sia di tipo naturalistico (migrazioni uccelli, sic, ecc.) che paesaggistico (PTCP).

La sintesi delle aree vincolate deriva dalla selezione di elementi vincolistici, territoriali e conoscitivi

di cui ai criteri definiti dalla Deliberazione della Giunta Regionale n. 966/2002:

- aree parco, SIC e ZPS caratterizzati da presenza significativa di avifauna tutelata ai sensi
- dell'Allegato I della Direttiva "Uccelli" 79/409/CE;
- aree di nidificazione e di caccia di rapaci o altri uccelli rari che utilizzano pareti rocciose;
- aree corridoio per l'avifauna migratoria, interessate da flussi costanti di uccelli nei periodi primaverili e autunnali;
- areali di chiroterti;
- zone soggette a regime di conservazione – CE del PTCP.

I tracciati lineari che individuano le rotte migratorie, nonché i riferimenti puntuali a punti di passo, devono essere intesi a tutela di una fascia di ampiezza variabile (2 – 4 km), sono valutati caso per caso sulla base di dati disponibili ovvero allo scopo specificamente acquisiti.

7.4.1 Ipotesi di progetto del micro-eolico

Si è scelto di installare un impianto micro-eolico, in quanto rappresenta una soluzione meno impattante rispetto alle pale eoliche di tipo industriale e di dimensioni elevate.

Turbina a vento Savonius

La soluzione che viene proposta in questo studio riguarda in particolare l'inserimento con turbine micro-eoliche di tipo Savonius, un tipo di turbina a vento ad asse verticale, utilizzata per la conversione della coppia dell'energia del vento su un albero rotante.

La pala curva accoglie e sfrutta il vento che la spinge e lascia più facilmente sfuggire il vento che contrasta nella fase opposta. In altri termini, le pale trovano meno resistenza quando si muovono contro il vento che quando si muovono con il vento, la differenza di resistenza induce la turbina di Savonius a girare.

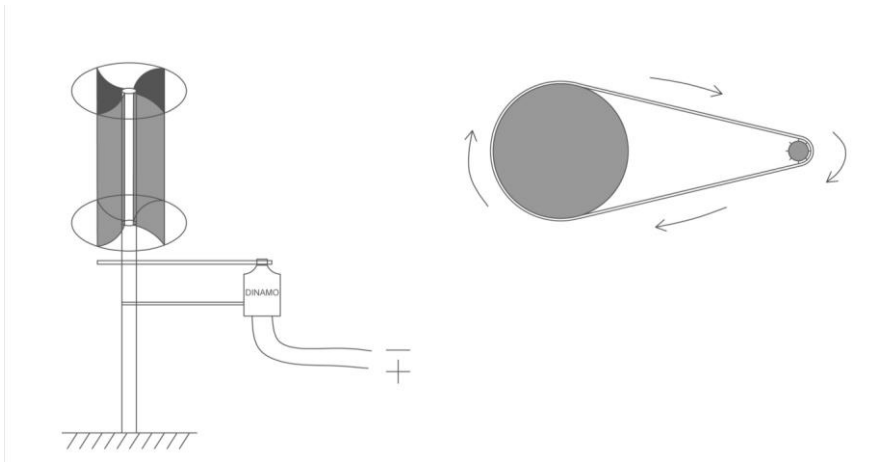


Fig. 7.9 - Schematizzazione e funzionamento dell'aerogeneratore micro-turbina Savonius

Questa tipologia di turbina infatti si presta molto bene ad essere collocata nel sito in questione, per il basso impatto acustico, estetico ed economico, per le sue caratteristiche statiche, dinamiche e prestazionali.

Calcolo produzione energia

Nello studio è stato effettuato il calcolo della produzione energetica di una pala eolica di una stazione meteorologica situata a Righi, un sito vicino e dalle caratteristiche simili al sito in questione.

Per i calcoli è stato utilizzato il metodo riportato al Cap. 3 con riferimento alla curva di densità di probabilità della velocità del vento di Weibull e i dati forniti dal produttore, utilizzando altresì i dati di ventosità del 2105. Per una valutazione più accurata sarebbe opportuno effettuare il calcolo per diversi anni e misurati nel sito in questione.

È stato calcolato che nel 2015 la pala eolica avrebbe prodotto 671 kWh di energia elettrica.

Il progetto prevede l'installazione di una ventina di pale micro-eoliche, la cui energia prodotta viene sommata a quella dei pannelli fotovoltaici e contribuisce a coprire il fabbisogno dell'attività che saranno introdotte nel complesso di Forte Begato.

Il micro-eolico avrà altezza massima 2 metri e non sarà visibile dallo skyline e sottostante l'altezza delle mura, o ancorato al terreno.

Si è pertanto ipotizzato l'inserimento di impianti micro-eolici da inserire su alcune parti delle mura di Forte Begato, con le pale innestate ad un'altezza di 2 m circa dal muro, sfruttando la posizione strategica del complesso, che è collocato sul crinale, sovrastando gli alberi ed altri ostacoli al naturale flusso del vento.

Essendo i percorsi pedonali affiancati alle mura si è inoltre ipotizzato di installare sui pali del micro-eolico, dei lampioni, ad un'altezza di circa 2m.

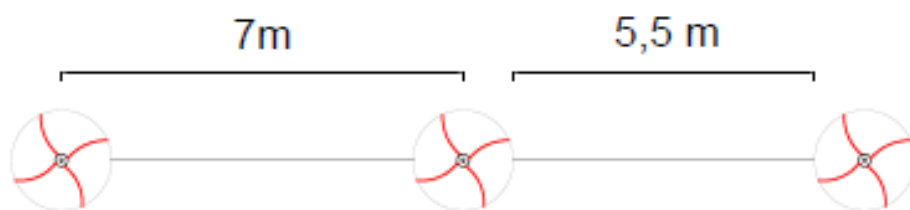


Figura 7.10 - Distanza tra due pale micro-eoliche



Figura 7.11 - Vista aerea di Forte Begato con un'ipotesi di inserimento del micro-eolico

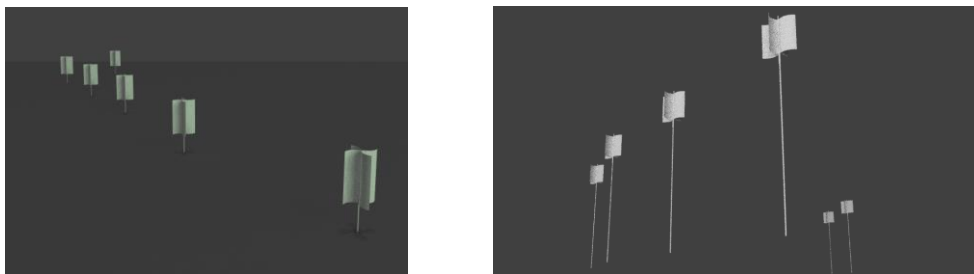


Figure 7.12 - Render delle turbine a vento Savonius per l'ipotesi di inserimento del micro-eolico

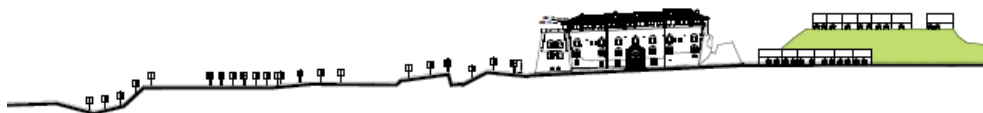


Figura 7.13 - Sezione territoriale del sito di Forte Begato per l'analisi dell'impatto paesaggistico

Copertura consumi elettrici

Il progetto del Comune prevede diverse ipotesi di destinazione d'uso dell'ex caserma e dei volumi degli edifici adiacenti. Tra queste, per l'ex caserma una delle ipotesi è la trasformazione in albergo.

Nel progetto di ricerca lo studio è stata effettuata una stima del fabbisogno elettrico dell'albergo, utilizzando i benchmark descritti al Capitolo 2.

Con il dimensionamento a 28 stanze il fabbisogno risulta pari a 196 MWh.

Attraverso l'impiego combinato degli impianti micro-eolico e dei pannelli fotovoltaici è possibile raggiungere la copertura del fabbisogno elettrico del 60%.

7.5 Isolamento termico

Nel caso delle fortificazioni militari, viene proposto un intervento di isolamento termico sulla superficie interna delle pareti, al fine di evitare l'impatto sul paesaggio esterno.

In caso di isolamento sull'esterno, si evitano ponti termici che possono essere causati da una necessaria ristrutturazione strutturale.

L'isolamento delle zone d'ombra è utile per limitare i costi di riscaldamento, mentre limita in parte i costi di raffrescamento.

La malta a base di silice è molto adatta perché è caratterizzata da un elevato fattore di resistenza al vapore acqueo (valore μ) e da un elevato coefficiente di trasporto del liquido.

Per questo motivo, l'applicazione di questa tecnologia su muri esistenti è adatta a involucri che presentino umidità dovute alla capillarità, un problema comune negli edifici storici (Ibrahim M. et al., 2014).

Si deve inoltre considerare che l'isolamento termico interno può causare diversi problemi di umidità: riduzione di evaporazione, rischio di condensa, ecc., è quindi necessario utilizzare anche una barriera al vapore nell'applicazione dell'isolamento termico.

In particolare per gli spazi riscaldati a intermittenza, si ottiene un risultato migliore applicando l'isolamento sul lato interno.

Tsilingiris (2006) ha dimostrato che per gli spazi a condizionamento intermittente, l'isolamento termico ha una migliore prestazione quando viene installato sul lato interno della parete.

A causa della sua bassa capacità termica, quando inizia il ciclo di riscaldamento, vi è un rapido aumento della temperatura ambiente fino al livello di impostazione del termostato desiderato.

Al contrario, Kossecka e Kosny (1998) dimostrarono che per il riscaldamento e raffrescamento continui degli edifici, la migliore soluzione da un punto di vista energetico è posizionare l'isolamento sulla superficie esterna del muro.

Anche quando si utilizza l'indice di controllo termico in modalità senza riscaldamento la migliore prestazione si ottiene quando si posiziona l'isolamento sulla superficie interna della parete [4].

Caso per caso, per ottenere un elevato livello di comfort, possono essere impiegate anche vernici con proprietà riflettenti termiche.

Si dovrebbe prendere in considerazione anche il comfort di livello termico, a seconda del tipo di isolamento coinvolto. Un isolamento con basse pareti a U ha anche elevate temperature di parete e una temperatura ridotta all'interfaccia di parete / isolamento (Walker R., Pavia S., 2015).

Per quanto riguarda l'analisi dei costi, i costi dell'aerogel sono più elevati del costo dell'isolamento tradizionale. L'emissione dei costi, per quanto riguarda l'uso di aerogel nell'ambito di edifici storici, può essere ponderata sulla base del valore dell'edificio stesso (che aumenta notevolmente con un intervento di riqualificazione), sui guadagni derivanti dalla destinazione d'uso prevista, sulla durata della vita dell'edificio.

Simulazione

Nella simulazione con Energy Plus sono stati considerati i seguenti dati e parametri.

Per la muratura e per l'isolamento termico sono stati utilizzati i seguenti dati:

Struttura della parete: pietra calcarea

ITI = isolamento termico interno: **Blanket aerogel**

ITE = isolamento termico esterno: **Aerogel mortar**

	Conducibilità termica (W/(m.K))	Capacità termica (J/(K.kg))	Densità (kg/m³)	Spessore (cm)
Pietra calcarea	2	840	2300	170
Blanket aérogel (1)	0.015	750	150	2
Aérogel mortar (2)	0.027	1100	200	4

Successivamente, è stato inserito l'isolamento sulle pareti esterne ed è stato fatto un confronto tra i diversi tipi di isolamento.

In questa simulazione non sono stati presi in considerazione i ponti termici dell'edificio, in quanto generalmente il problema non sorge negli edifici storici in muratura, che sono caratterizzati da una struttura abbastanza uniforme. In questi casi, i ponti termici sono generalmente limitati alle finestre.

Ovviamente, il problema si verifica nei fabbricati interessati da un recupero strutturale realizzato con materiali moderni e nuove tecnologie, che non rispettano il progetto originale dell'edificio, modificandone notevolmente lo stato (De Santoli L. et al., 2014).

RISULTATI DELLA SIMULAZIONE

Nelle figure 7.14 e 7.15 vengono mostrati gli andamenti delle richieste di energia termica per il riscaldamento e per il raffreddamento.

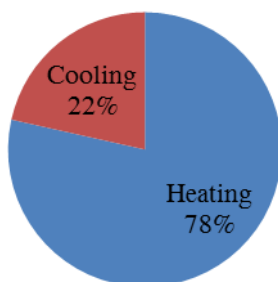


Fig. 7.14 - Uso finale di riscaldamento e raffreddamento annuale

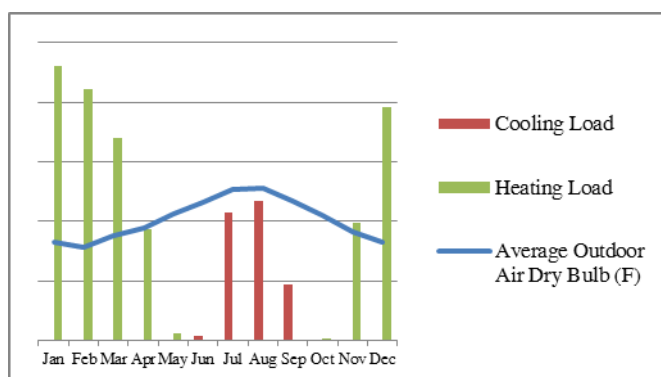


Fig. 7.15 - Fabbisogni mensili di riscaldamento e raffreddamento e temperatura media dell'aria esterna a bulbo secco (*)

(*) La temperatura a bulbo secco è quella misurata da un comune termometro a bulbo. La misura di tale temperatura è indipendente dall'umidità relativa dell'aria

I grafici di confronto con e senza isolamento sono inoltre presentati nelle figure 7.16 e 7.17

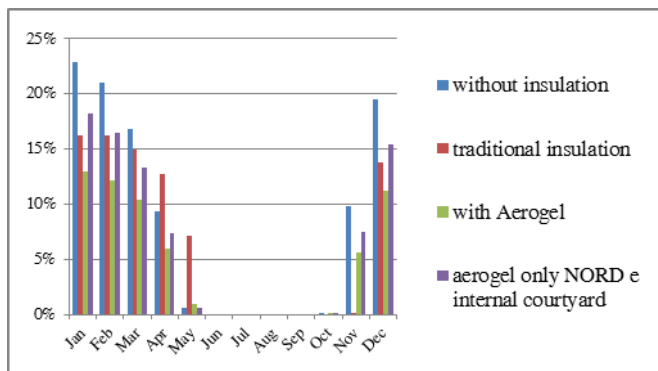


Fig. 16 - Andamento percentuale mensile del carico di riscaldamento a seconda del tipo di isolamento utilizzato, rispetto al fabbisogno di riscaldamento complessivo

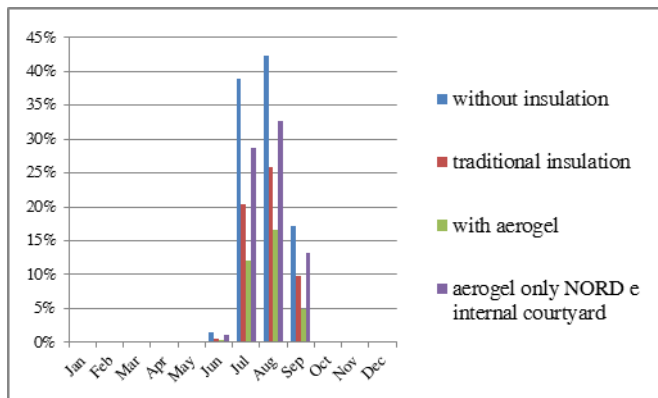


Fig. 17 - Andamento percentuale mensile del carico di raffrescamento a seconda del tipo di isolamento utilizzato, rispetto al fabbisogno di riscaldamento complessivo

Dal grafico, risultato dello studio effettuato, possiamo ad esempio notare che si ha una riduzione del 25% circa del fabbisogno di riscaldamento applicando isolamenti termici di tipo tradizionale, mentre, se viene applicata la stessa quantità di silica aerogel, in termini di spessore, si può raggiungere una riduzione del 40% circa.

Inoltre, durante la stagione estiva, è possibile ottenere un risparmio energetico fino al 40% attraverso l'isolamento tradizionale e un risparmio energetico fino al 65% utilizzando il silica aerogel.

Questa analisi tiene conto solo dell'isolamento delle pareti esterne, senza aggiunta di modifiche ai solai e alla copertura, recentemente rinnovata, già dotata di un isolamento termico interno.

Considerando gli elevati costi associati all'aerogel, in molti casi ancora sperimentali, si propone una soluzione alternativa: l'applicazione di questo tipo di isolamento termico solo nelle zone a nord e sulle pareti del cortile interno. Questo tipo di isolamento può ridurre notevolmente le perdite di calore dell'intero edificio del 25% in estate e del 20% in inverno, rispetto alla condizione senza isolamento termico.

Scelta dell'isolamento a seconda della destinazione d'uso previsto e dello stato di occupazione

La scelta sul tipo di isolamento può anche essere concepita sulla base dell'uso previsto e del suo periodo di impiego. Infatti alberghi, ristoranti, uffici, musei, ecc. hanno profili di utilizzo molto variabili.

Per tale ragione è stato effettuato un confronto tra diverse potenziali destinazioni d'uso e un'analisi delle dispersioni termiche attraverso le pareti, tenendo conto delle variazioni delle esigenze energetiche dell'edificio.

Viene inoltre condotto uno studio sui profili energetici delle diverse destinazioni d'uso.

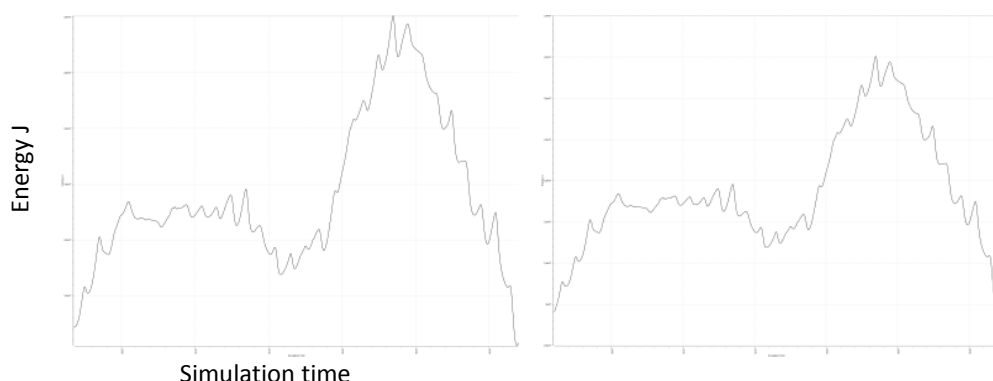


Fig. 7.18 - Fabbisogno riscaldamento nel mese di gennaio per diverse destinazioni d'uso del Forte

I picchi di energia giornalieri, dipendono dallo stato di occupazione dell'edificio, come mostrato nella figura 7.18.

In questi casi di studio per diversi periodi di utilizzo e per gli spazi riscaldati a intermittenza, si ottiene un risultato migliore applicando l'isolamento sul lato interno.

Sfasamento e smorzamento

Considerando lo spessore della parete (1,7-2,3 m), lo sfasamento è ovviamente enorme (alto spessore + alta densità) e il fattore di smorzamento è molto basso.

Secondo uno studio, considerando l'aggiunta di isolamento ITI (Isolamento termico dall'interno: Blanket aerogel 1) o ITE (Isolamento termico dall'esterno: Mortar Aerogel 2), il fattore di smorzamento diventa ancora più piccolo. Da un lato, le variazioni di temperatura della superficie interna sono troppo piccole, d'altra parte l'errore di calcolo diventa più importante delle variazioni di temperatura coinvolte. Ciò è particolarmente vero poiché la muratura oggetto dello studio è spessa e pesante.

Avere un fattore di decremento così basso senza isolamento significa che l'aggiunta di ITI o ITE non influenzerà il comfort all'interno dell'edificio.

Il silica aerogel è un materiale che ha bassa densità e capacità termica molto bassa. Di conseguenza non influenza di molto lo sfasamento, o il fattore di smorzamento della muratura. $C = c \cdot \rho$

Tuttavia, esso presenta valori molto alti di dispersioni termiche, grazie al suo basso valore di conducibilità termica.

Scelta dell'isolamento a seconda del clima

Studi precedenti sullo spessore ottimale [7] mostrano che lo spessore di rendimento ottimale è nell'intervallo 1,7-4,4 cm e il periodo di ritorno è nell'intervallo 1,4-2,7 anni a seconda del clima. Lo spessore è ottimizzato su un'analisi dei costi per diversi climi, per il caso di ristrutturazione di un vecchio edificio.

Lo spessore ottimale aumenta con l'aumento del set-point di riscaldamento; tuttavia, esso diminuisce con il crescente costo dell'isolante.

Di seguito viene riportato uno studio sull'analisi economica dell'isolamento riferito alle condizioni climatiche di Nizza, in quanto il clima è simile a Genova, luogo in cui si trova Forte Begato, oggetto dello studio.

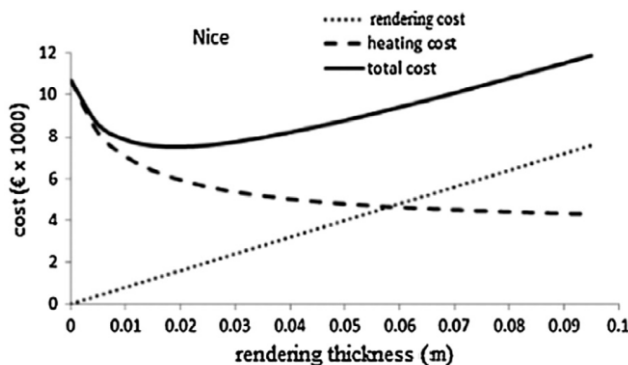


Fig. 7.19 - Costi del riscaldamento, costo dell'isolamento esterno con applicazione aerogel, e costo totale in una zona climatica come a Nizza (FR).

7.6 Involucro trasparente – gli infissi

Il progetto di riqualificazione energetica di Forte Begato prevede anche la sostituzione degli infissi del terzo piano della ex caserma con nuovi infissi con prestazioni energetiche di isolamento elevate, del tipo serramenti in PVC, sistema a 5 camere, vetri camera tripli, trasmittanza $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

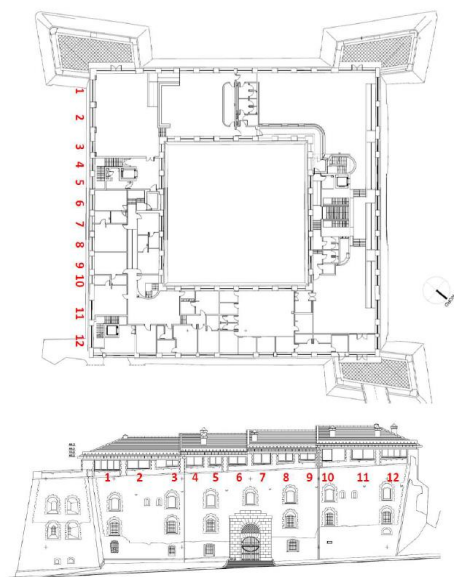
E' stato scelto di intervenire sul terzo piano in quanto presenta le maggiori superfici vetrate di tipo tradizionale, mentre nei piani sottostanti le finestre a feritoie e quindi con meno apporti solari e meno esposte a fenomeni atmosferici.

Calcolo Energia risparmiata con la sostituzione degli infissi del terzo piano

La valutazione è stata svolta con il calcolo del risparmio energetico annuo di energia in fonte primaria previsto con un intervento di efficienza energetica, dell'Agenzia Nazionale Efficienza Energetica, del Ministero dello Sviluppo Economico e dell'ENEA.

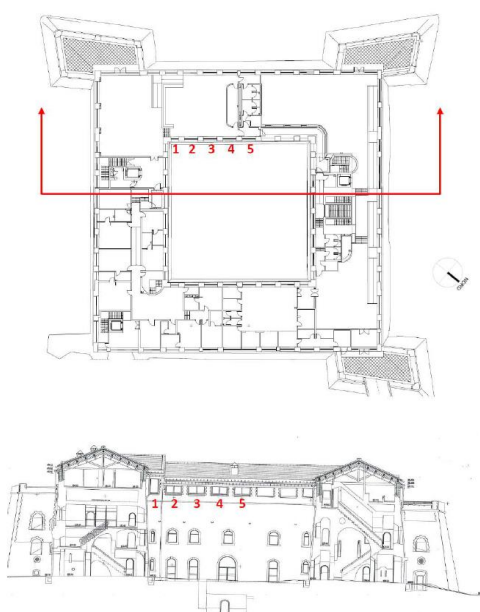
Nelle figure sottostanti sono riportati i prospetti e le piante per del terzo piano per i conteggi delle superfici vetrate.

PIANO TERZO Prospetto Sud-Est



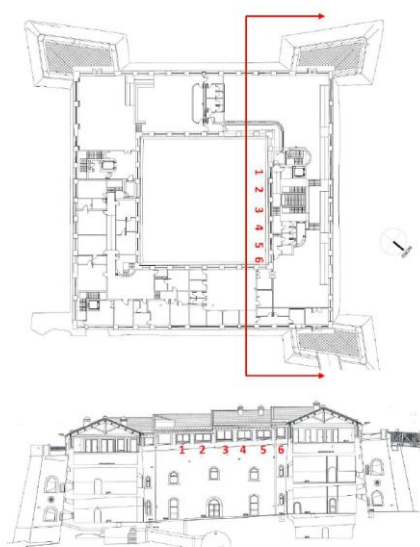
1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 = mq 32

PIANO TERZO Prospetto Sud-Ovest

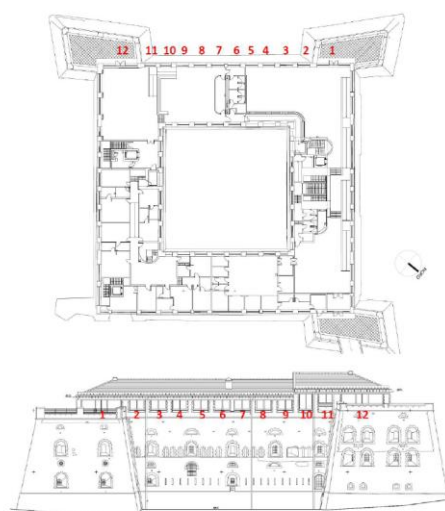


1-2-3-4-5 = mq 13,50

PIANO TERZO Piano Prospetto Sud-Ovest

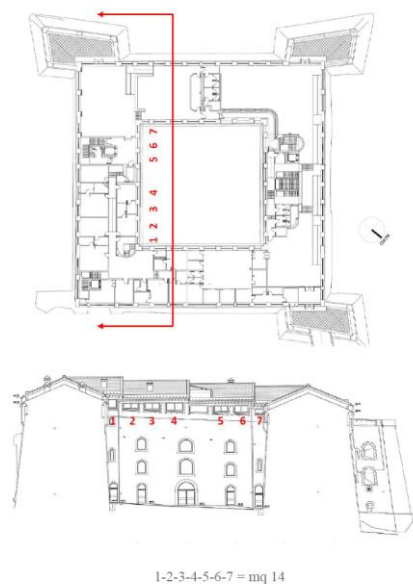


PIANO TERZO Prospetto Nord-Ovest

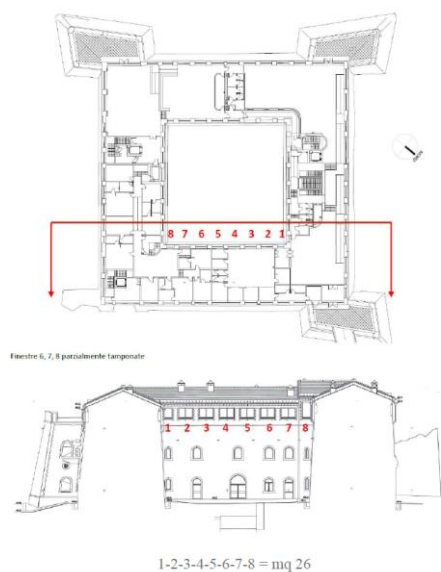


1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 = mq 66

PIANO TERZO Prospetto Sud-Est



PIANO TERZO Prospetto Nord-Ovest



La superficie finestrata totale dell'ultimo piano considerando sia i prospetti esterni che le facciate che danno sul cortile misura circa 282 m².

Energia risparmiata usi finali:

17132,94 kWh

Energia risparmiata come fonte primaria:

$Q_{pr} = 17132,94 / 0,70 = 24475,63$ kWh

che equivale a 6466,46 kg di CO₂ risparmiati all'anno

Bibliografia

- [1] L. C. Forti 1975 Le fortificazioni di Genova, Genova, Italia
- [2] F. P. Vivoli, S. Castello, F. De Lia, G. Graditi, A. Scognamiglio, L. Zingarelli, R. Schioppo, Progettare e installare un impianto fotovoltaico, (2008) Enea – Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente
- [3] M. Ibrahim, E. Wurtz, P.H. Biwole, P. Achard, H. Sallee, Hygrothermal performance of exterior walls covered with aerogel-based insulating rendering, Energy and Buildings (2014), Vol. 84, pp. 241-251. [DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.07.039](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.039)
- [4] M. Ibrahim, P.H. Biwole, E. Wurtz, P. Achard, A study on the thermal performance of exterior walls covered with a recently patented silica-aerogel-based insulating coating, Build. Environment (2014), Vol.81, pp.112-122. [DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.06.017](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.017)
- [5] R. Walker, S. Pavia, Thermal performance of a selection of insulation materials suitable for historic buildings, Building and Environment (2015), Vol. 94, pp. 155-165. [DOI: 10.1016/j.buildenv.201507.033](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.201507.033)
- [6] L. De Santoli, L. Bellia, S.P. Corgnati, A. F. R. D'Ambrosio, M. Filippi, L. Mazzarella, P.C. Romagnoni, F. Sciurpi, Efficienza energetica negli edifici storici, Guida AICARR (2014), Milano, Italia.
- [7] M. Ibrahim, P.H. Biwole, P. Achard, E. Wurtz, A. Guillame, Building envelope with a new aerogel-based insulating rendering: Experimental and numerical study, cost analysis and thickness optimization, Applied Energy (2015), Vol. 159, pp. 490-501. [DOI: 10.1016/j.aenergy.2015.08.090](https://doi.org/10.1016/j.aenergy.2015.08.090)
- [8] C. Saio, K. Nocentini, L. A.Tagliafico, P. H. Biwole, P.Achard, Application of advanced insulating materials in historical buildings, 2017, IJHT - International Journal of Heat and Technology (2017) Vol. 35, Special Issue 1, pp. S345-S352 [DOI: 10.18280/ijht.35Sp0147](https://doi.org/10.18280/ijht.35Sp0147)

8 CASO DI STUDIO COMPLESSO EDIFICI DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA

Lo studio è stato effettuato sul complesso degli edifici di ARTE di Via Pietro Leva situato a Genova, che comprende quattro edifici, costruiti nel 1970.

Si tratta di edifici residenziali (E1, DPR n. 412 del 26.8.1993) uniti a coppie, disposti a formare una corte, collocati su diversi livelli. Ogni edificio presenta quattro piani di appartamenti. In totale vi sono 93 appartamenti, con una media di circa 80 m² per appartamento.

Il progetto di riqualificazione del complesso di Via Leva ha affrontato tematiche energetiche e sociali e propone soluzioni integrate, con una selezione di interventi mirati.

In particolare per quanto riguarda la riqualificazione energetica sono stati previsti i seguenti interventi:

- la riqualificazione del sistema involucro che comprende la riqualificazione delle facciate degli edifici con un progetto di isolamento a cappotto e di sostituzione degli infissi
- la copertura con tetto verde, che include la collocazione di pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria e di pannelli fotovoltaici previsti per la produzione di energia elettrica
- la riqualificazione del sistema impianto per la produzione di acqua calda sanitaria, utilizzando pannelli solari termici
- la produzione di energia elettrica utilizzando pannelli fotovoltaici
- un'ulteriore soluzione con l'utilizzo di pannelli solari ibridi per la produzione di energia termica ed elettrica, abbinata ad una pompa di calore elioassistita



Descrizione del complesso di Via Leva

Le coperture di tutti gli edifici sono piane, con una leggera pendenza verso la facciata principale, a forma di scafo di nave, che consente la raccolta e il deflusso dell'acqua piovana. Sulla copertura è presente un rivestimento di lastre grecate di amianto.



Si tratta di edifici a ballatoio, con passerelle di accesso agli alloggi sul retro degli edifici, con balconi rientranti rispetto al profilo della facciata retrostante. La facciata principale è in gran parte occupata da grandi finestre atre ante che si presentano come una striscia continua, intervallate da coppie di logge di due appartamenti adiacenti. I prospetti laterali presentano invece pareti cieche.

Gli edifici hanno una struttura a telaio con pilastri in acciaio, annegati nel calcestruzzo e presentano ampi porticati; le pareti di tamponatura sono rivestite con pannelli in calcestruzzo prefabbricato.

La facciata principale presenta una serie di finestre continue, intervallate da terrazzini interni (logge, una per appartamento) molti dei quali chiusi con finestre, come protezione dalla pioggia e isolamento termico, o per poterne meglio sfruttare lo spazio.



Il retro degli edifici presenta una struttura piuttosto articolata. Ogni appartamento presenta un balcone rientrante rispetto al profilo della facciata. Anche in questo caso, come per le logge della facciata principale (ma in misura molto minore), alcuni condomini hanno provveduto a chiudere i balconi con delle vetrate.

Sul retro di ogni caseggiato inoltre sono collocati i ballatoi, che hanno la funzione di passerelle staccate dalla facciata, a cavallo delle quali sono presenti le colonne degli ascensori, con gli ingressi agli appartamenti.

Le pareti laterali sul lato corto di tutti gli edifici sono invece cieche e sono scandite dai pannelli prefabbricati rettangolari.

La simulazione del comportamento termico dell'edificio, con i dati forniti da ARTE, ha consentito di quantificare alcune grandezze, ad esso legate, che permettono di verificarne la "bontà" dal punto di vista termico. Fra i valori determinati, molto interessanti risultano il fabbisogno termico dell'involucro edilizio (Q_{inv} espresso in MJ) e il fabbisogno di energia primaria (Q_{prim} espresso in MJ) richiesta dal sistema impianto termico-edificio.

Il fabbisogno termico dell'involucro edilizio rappresenta la quantità di energia di cui necessita l'edificio, inteso appunto come semplice involucro edilizio, per essere riscaldato. Tale energia dovrà quindi essere fornita da un impianto termico o, come avviene in questo caso specifico, da una rete di distribuzione del calore.

Questa grandezza, per come è definita, risulta determinata unicamente dalle caratteristiche edilizie del fabbricato, dal suo orientamento, dalle temperature presenti nei locali/edifici adiacenti e dai dati climatici esterni.

Il fabbisogno di energia primaria, rappresenta invece l'energia necessaria a monte dell'impianto termico per poter ottenere poi il valore necessario di Q_{inv} .

Questa grandezza risulterà quindi determinata dalle caratteristiche di efficienza dell'impianto termico, cioè dal suo rendimento, influenzato a sua volta dai vari rendimenti di regolazione, distribuzione, emissione.

Fabbisogno di energia utile invernale secondo UNI EN ISO 13790 e UNI TS 11300-1 **Irradiazione solare giornaliera media mensile:**

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m ²	1,8	2,6	3,8	5,5	7,8	9,4	9,3	6,6	4,3	3,1	2,0	1,6
Nord-Est	MJ/m ²	2,0	3,3	5,6	8,3	10,9	12,4	13,2	10,3	7,0	4,3	2,3	1,8
Est	MJ/m ²	4,3	6,3	9,1	11,6	13,5	14,6	16,2	13,9	11,1	8,2	4,6	4,1
Sud-Est	MJ/m ²	7,6	9,4	11,4	12,2	12,5	12,6	14,3	13,9	13,1	11,7	7,6	7,5
Sud	MJ/m ²	9,7	11,3	12,1	10,9	10,1	9,7	10,9	11,7	12,9	13,6	9,6	9,7
Sud-Ovest	MJ/m ²	7,6	9,4	11,4	12,2	12,5	12,6	14,3	13,9	13,1	11,7	7,6	7,5
Ovest	MJ/m ²	4,3	6,3	9,1	11,6	13,5	14,6	16,2	13,9	11,1	8,2	4,6	4,1
Nord-Ovest	MJ/m ²	2,0	3,3	5,6	8,3	10,9	12,4	13,2	10,3	7,0	4,3	2,3	1,8
Orizzontale	MJ/m ²	5,3	8,2	12,5	16,9	20,6	22,7	24,8	20,5	15,4	10,6	5,8	4,9

Dati geometrici:

Superficie in pianta netta	11793,00	m ²
Superficie esterna lorda	37737,60	m ²
Volume netto	35379,00	m ³
Volume lordo	42454,80	m ³
Rapporto S/V	0,89	m ⁻¹

Fabbisogno di energia utile stagione invernale

Sommario perdite e apporti

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh] _t	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Ottobre	56014	13714	69728	21026	335	21361	48464
Novembre	112895	32493	145388	11134	324	11458	133930
Dicembre	168639	50600	219239	9720	335	10055	209185
Gennaio	188854	57221	246074	10513	335	10848	235227
Febbraio	157536	47412	204948	14692	302	14994	189954
Marzo	135429	39723	175152	24795	335	25130	150028
Aprile	87743	24255	111998	32442	324	32766	79357
Maggio	36285	8597	44882	28999	238	29237	17484

Totali **943394** **274015** **1217409** **153320** **2527** **155848** **1063628**

Confronto consumi calcolati e consumi effettivi

Come si può notare, valori teorici ed effettivi per la stagione 2007 tendono a coincidere, rilevando un incremento del teorico sull'effettivo di un 2% circa; tale scostamento può essere imputato ad un inverno leggermente più mite rispetto alle condizioni climatiche standard o ad un utilizzo inferiore della struttura (ad esempio per festività non considerate).

I calcoli precedentemente riportati fanno riferimenti ad un utilizzo standard dell'edificio, considerando un funzionamento per 14 ore giorno e 180 giorni anno. In realtà, questo approccio viene utilizzato per poter confrontare attraverso dati di input standard il comportamento energetico degli edifici; tuttavia il profilo di utilizzo reale varia di edificio in edificio, anche in considerazione delle diverse destinazioni d'uso.

In particolare, nel caso di edifici scolastici, bisogna considerare un utilizzo intermittente della struttura, sia in termini di ore giornaliere, sia in termini di giorni al mese.

Di seguito si riportano i valori di fabbisogno di energia primaria; tale valore è poi confrontato con i consumi effettivi della scorsa stagione termica (dati forniti dal cliente).

Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento effettivo 128.795 kWh/anno

Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento da consumi 131.424 kWh/anno

Differenza 2%

Analisi termografica

Si riportano di seguito i dati un'analisi termografica di tipo qualitativo, forniti da A.R.T.E. L'analisi termografica è stata effettuata nelle condizioni ideali, che prevedono la presenza di un dislivello termico pari a 15 °C, l'assenza di radiazione infrarossa e di ventilazione naturale. Inoltre, nei tre giorni antecedenti all'analisi è stata verificata la mancanza di pioggia o di altri fenomeni atmosferici i quali potessero creare aberrazioni nei risultati dei livelli termici della termografia IR.

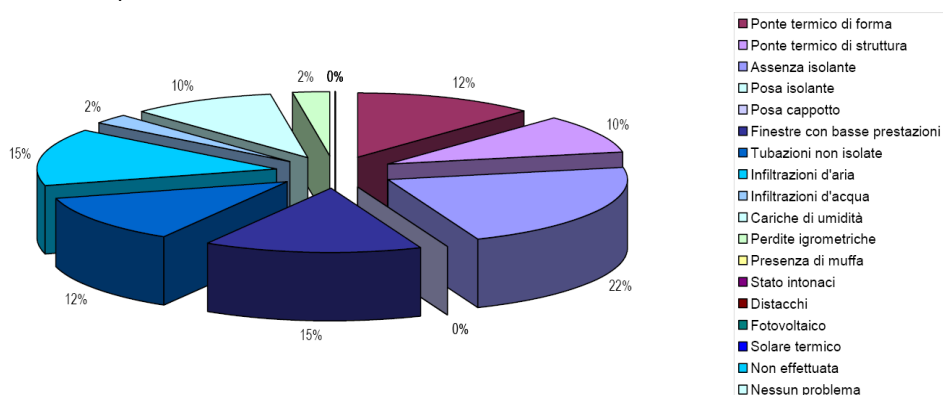
Le operazioni hanno previsto un rilievo termografico in ambiente esterno con valutazione della presenza di ponti termici, di discontinuità termiche e materiche, di caduta e distacco degli intonaci, la prestazione energetica delle finestre e di problemi termoigrometrici.

Risultati dell'analisi termografica

L'elaborazione dei dati relativi all'analisi termografica effettuata

ha permesso di effettuare una serie di valutazioni comparate sul patrimonio immobiliare A.R.T.E. Genova.

Per ogni edificio è stata valutata la percentuale con cui si manifesta il problema rispetto all'intero comparto edilizio.



L'analisi effettuata sul comparto edilizio ha dimostrato che le problematiche possibili riscontrate riguardano:

- Presenza di ponti termici di forma;
- Presenza di ponti termici di struttura;
- Assenza di isolamento termico dell'involucro opaco;
- Presenza di vetri e telai dotati di scarse prestazioni termiche;
- Presenza di tubazioni non isolate termicamente;
- Presenza di infiltrazioni di aria sull'involucro edilizio o nelle giunzioni strutturali dell'edificio;
- Presenza di infiltrazioni o di perdite di acqua nelle pareti esterne e interne, nei tetti, nei solai di copertura;
- Individuazione di aree cariche di umidità all'interno dell'isolamento delle coperture;
- Localizzazione di perdite igrometriche su impianti idrici, fognari e di riscaldamento.

Il confronto tra i dati rilevati nei comparti edilizi ha messo in evidenza le diverse problematiche riscontrate. I problemi principali riguardano l'involucro edilizio opaco e trasparente. Nel complesso si nota l'assenza di materiale isolante e, contemporaneamente, la presenza di vetri dotati di elevate dispersioni termiche.

Vi è anche la presenza di ponti termici di forma e di struttura e di tubazioni non isolate termicamente.

Altri problemi abbastanza diffusi riguardano le infiltrazioni d'aria.

I problemi idrici e legati alla presenza di muffe, condense e di distacchi di intonaci sono meno rilevanti.

8.1 Riqualficazione del sistema involucro

L'intervento sull'involucro va considerato nel suo insieme, l'intero edificio dovrebbe infatti essere isolato termicamente dal piano terreno sino alla copertura, tenendo conto di tutti gli spigoli, di tutte le rientranze e dei collegamenti tra i vari elementi strutturali, ossia di tutto ciò che può determinare un ponte termico.

Il progetto per la ristrutturazione e l'efficientamento energetico del sistema involucro prevede tre interventi:

- sostituzione del rivestimento con lastre di amianto con coperture a verde
- isolamento a cappotto delle facciate
- sostituzione degli infissi

8.1.1 Progetto per la copertura a verde

La riqualficazione della copertura degli edifici comporta come primo intervento la rimozione delle lastre di amianto e la realizzazione di un **tetto verde** su ciascun edificio, un sistema integrato con dei pannelli solari termici per la produzione dell'acqua calda sanitaria e fotovoltaici per la produzione di energia elettrica a servizio degli appartamenti sottostanti. Il progetto della copertura inverdita utilizza la combinazione di specie differenti in sistemi differenziati: l'inverdimento intensivo e l'inverdimento estensivo, disponendo correttamente tutti gli elementi primari, condizione necessaria prescritta dalla normativa (UNI, 2007).

Zonizzazione coperture a tetto verde

Si distinguono due tipologie principali di tetto verde.

1. Il verde estensivo

Il verde estensivo è un rivestimento semplice, economico e ideale sia per tetti piani che inclinati. Ha una capacità di carico ridotta in quanto la sua vegetazione è di tipo superficiale e quindi con substrato ridotto. È costituito da specie vegetali di tipo perenne, generalmente erba e piccoli arbusti che richiedono una bassa manutenzione a regime.

2. Il verde intensivo

Il verde intensivo è invece applicabile sui tetti piani con portanza superiore ai 150 kg. In questo caso la varietà vegetativa sarà enorme e si tratta di una vera e propria conversione del terrazzo in un ambiente ricco di piante, panchine, campi di gioco.

È costituito da specie vegetali robuste che richiedono un'elevata manutenzione a regime.

3. Ghiaia

Esiste una terza tipologia di copertura che si riferisce a zone di camminamento o sulle quali vengono posizionati elementi impiantistici, quali pannelli solari o fotovoltaici, zone che si possono integrare con le zone a verde estensivo e quelle a verde intensivo.

Un progetto di tetto verde prevede quindi una fase di progettazione della zonizzazione delle coperture oggetto dell'intervento.

Descrizione tecnologia e materiali

Nel seguito vengono descritti gli elementi primari, secondari e altri elementi accessori che verranno utilizzati per le coperture a verde nel complesso di via Leva.

Elementi primari

La copertura a verde progettata presenta tutti gli elementi primari, come riportati nella figura sottostante, condizione necessaria prescritta dalla norma UNI 11235.

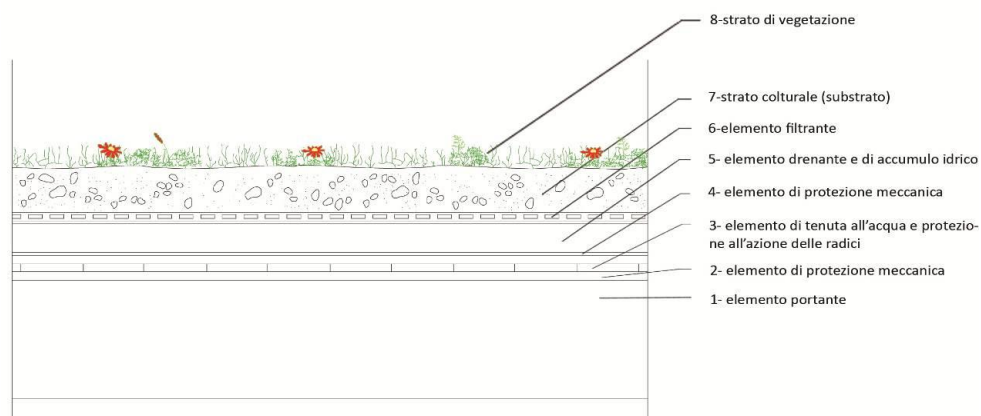


Fig.8.1 - elementi primari copertura a verde (UNI 11235)

Elementi secondari

Sono previsti anche elementi secondari, quali:

- **lo strato termoisolante**, necessario in quanto si ha solo una parte delle coperture destinata a tetto verde intensivo (spessore di substrato ≥ 15 cm), nel quale si può tener conto del comportamento inerziale della massa (UNI 11235)
- **l' Impianto di irrigazione** che soddisfa il fabbisogno idrico del sistema. Si sceglie di installare un **impianto di irrigazione a goccia**: l'acqua viene distribuita attraverso tubi che vengono posati sulla superficie del substrato e ricoperti dallo sviluppo della vegetazione.
- **lo strato di zavorramento**, ghiaia tonda di fiume che garantisce, attraverso il proprio peso, la resistenza all'azione del vento ed all'azione dell'acqua meteorica e di irrigazione.

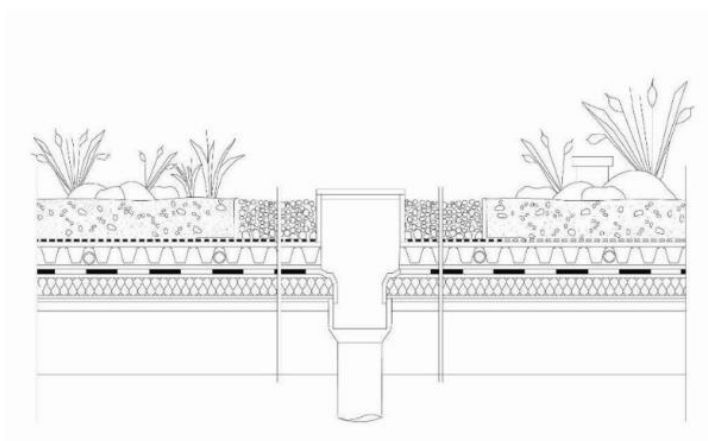


Fig.8.2 - Sezione del tetto verde di tipo intensivo con dettaglio degli elementi secondari



Fig. 8.3 - Progetto integrato delle coperture a verde e pannelli solari

8.1.2 Isolamento termico a cappotto

Il progetto dell'**isolamento a cappotto** prevede di intervenire su tutte le pareti esterne dell'involucro e sugli elementi importanti del piano terreno con i negozi e i porticati. Inoltre si prevede di intervenire sul perimetro della copertura che rappresenta un importante ponte termico.

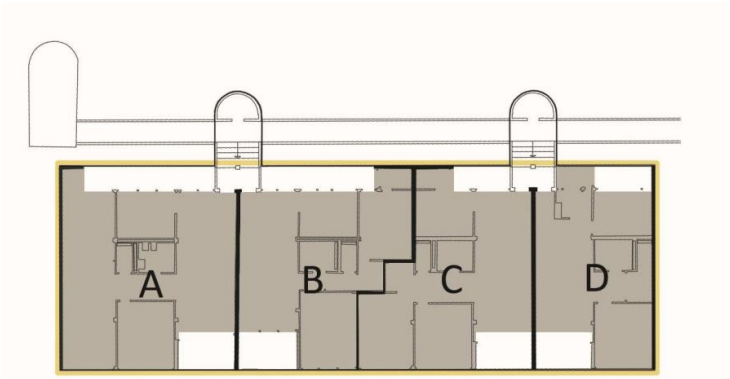


Fig. 8.4 - Pianta tipologica di alloggi, con indicazione del perimetro da isolare e delle logge da chiudere

La scelta degli isolanti è stata fatta valutando attentamente le caratteristiche dei materiali [2], in relazione alla parte di edificio su cui saranno impiegati e cercando inoltre di limitare al massimo il numero di tipologie di isolanti in modo da ottimizzare tempi, modalità e costi di lavorazione.

Si è quindi optato per l'utilizzo di due tipologie di isolante: lana di roccia e intonaco termoisolante minerale, disposti secondo lo schema descritto nella seguente tabella.

Tabella 8.1 Tipologie di isolante utilizzate

	Tipologia di pannello
Facciate	Lana di roccia
Pareti piano terreno	Intonaco termoisolante minerale
Solaio porticato	Lana di roccia
Copertura (cornicione)	Intonaco termoisolante minerale

Per quanto riguarda le prestazioni raggiunte dalle pareti verticali opache, su una superficie tipo della facciata isolata con lana di roccia si otterrà una significativa diminuzione del valore di trasmittanza (UNI, 2008). Tale valore è stato messo a confronto con il Conto Termico per Enti Pubblici (DM 28/12/12) presentato in Tabella 8.2, allo scopo di poter accedere ai finanziamenti.

Tabella 8.2 Confronto trasmittanze

Trasmittanza originaria	Trasmittanza post intervento	Trasmittanza conto termico
1,033 W/(m ² K)	0,237 W/(m ² K)	0,240 W/(m ² K)

8.1.3 Infissi

Altri interventi previsti per l'involucro sono **la sostituzione degli infissi** esistenti e la **chiusura delle logge** al fine di ridurre il fattore S/V e allo stesso tempo risolvere il problema delle infiltrazioni.

Sono proposti come esempio i Serramenti in PVC, sistema a 5 camere, vetri camera tripli : Valore U_w (calcolato) $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, (valore medio).

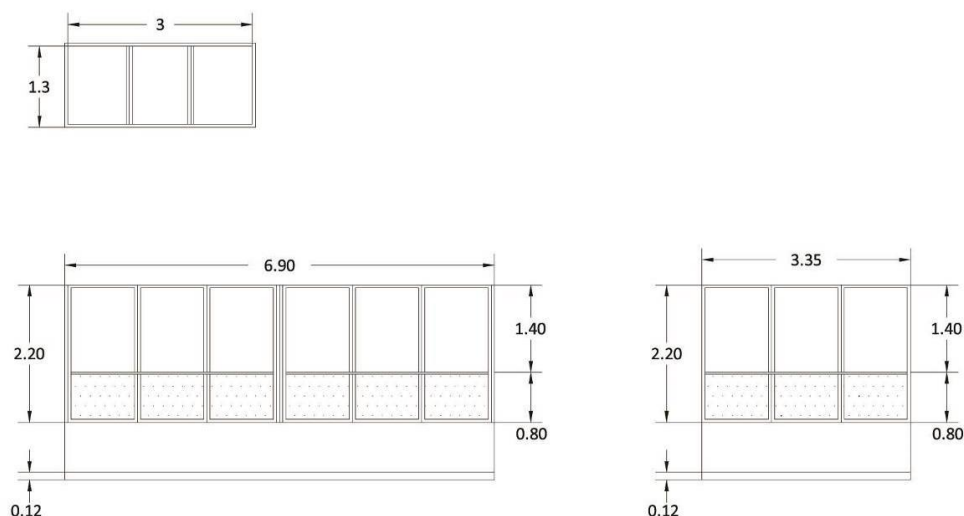


Fig. 8.5 - Abaco degli infissi

Il sistema di infissi a chiusura delle logge dovrebbe essere il più possibile trasparente alla luce con un parapetto simile a quello esistente e un sistema di finestre che consenta di poter aprire le finestre in modo da ricostruire l'effetto loggia quando desiderato.

8.2 Sistema impianto ed energie rinnovabili

Nell'approccio seguito per la progettazione si è tenuto conto sia dei benefici derivanti dall'utilizzo di fonti rinnovabili, sia dei costi da sostenere per la realizzazione dei possibili interventi, in relazione ai vantaggi, considerando i risparmi che si ottengono e quindi il recupero degli investimenti.

Nel progetto si è optato pertanto per il mantenimento dell'impianto di riscaldamento esistente e di intervenire sulla produzione di acqua calda sanitaria tramite pannelli solari termici (ST) e sulla produzione di energia elettrica tramite pannelli fotovoltaici (PV).

8.2.1 Progetto per utilizzo pannelli solari termici

E' prevista l'installazione **solare termico** che fornisca acqua calda sanitaria in misura superiore al 50% del fabbisogno ACS calcolato per tutti i 93 alloggi (UNI, 2014).

Analisi dei consumi

Dalla diagnosi energetica eseguita nel 2011, commissionata da A.R.T.E., risulta che per quanto riguarda la produzione di ACS, tutti gli edifici risultano in Classe G, con un valore che varia tra 46,51 e 46,53 KWh/m² anno.

Secondo tali dati, considerando una media di circa 80 m2 per alloggio, per un totale di 93 alloggi, risulterebbe un consumo annuo di circa 346000 kWh.

Calcolo del fabbisogno di ACS secondo la norma UNI TS 11300 **Fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria (Q_{h,w})**

$$Q_{h,w} = \sum \rho \times c \times V \times (\theta_{er} - \theta_0) \times G$$

$$c = 4184 \text{ [J/KgK]}$$

$$\theta_{er} = \text{temp. Erogazione} = 40^\circ\text{C}$$

$$\theta_0 = \text{temp. Erogazione} = 15^\circ\text{C}$$

$$V_w = \text{volume d'acqua calda sanitaria richiesto}$$

$$V = a \times Nu$$

$$a = \text{fabbisogno giornaliero specifico [l/Gm2], da valori tabellari, a per superficie media di 80 m2} = 1,6$$

$$Nu = \text{valore della superficie utile dell'abitazione [m2]. Parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio.}$$

Fabbisogno giornaliero di acqua calda a 40°C per appartamento

$$V_w = a \times Nu = 1.6 \times 80 = 128 \text{ [l/G]}$$

Fabbisogno giornaliero di energia termica utile per appartamento

$$Q_{h,w} = \rho \times c \times V_w \times (\theta_{er} - \theta_0) = 1.000 \times 4.184 \times 128 \times 10^{-3} \times 25 = 13.388.800 \text{ J}$$

$$13.388.800 \times 10^{-3} / 3600 = 3.72 \text{ KWh/giorno}$$

Fabbisogno giornaliero di energia termica utile per 93 appartamenti

$$Q_{h,w} = 3.72 \times 93 = 346 \text{ KWh/G}$$

Fabbisogno annuo

$$Q_{h,w} = \rho \times c \times V \times (\theta_{er} - \theta_0) \times G = 346 \times 365 = \mathbf{126.290 \text{ kWh/anno}}$$

Soluzioni proposte per produzione ACS con pannelli solari

Sono state esaminate **due soluzioni**, sommariamente descritte nelle Tabelle III-IV-V: la prima prevede impianti separati, ognuno a servizio di una colonna di 2 appartamenti per piano per 4 piani (Fig.2), con collegamento diretto dell'impianto solare termico con gli alloggi; la seconda soluzione prevede invece un unico impianto solare termico centralizzato, collegato all'impianto di riscaldamento.

Ogni impianto sarà costituito da uno o più campi, ognuno dei quali sarà composto dall'abbinamento di più collettori solari (Fig.8.10) con un'**inclinazione di 45°**.

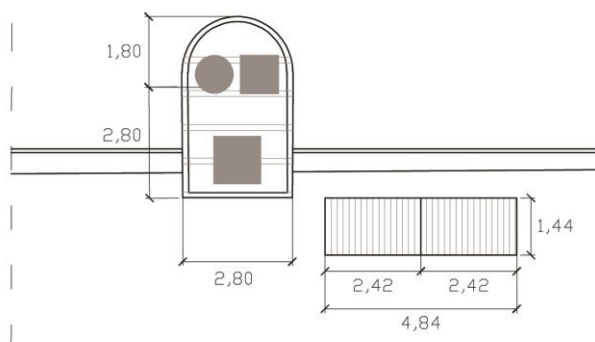


Fig. 8.6 - Posizionamento componenti sul solaio della colonna ascensore (Soluzione1).



Fig. 8.7 - Visuale prospettica delle coperture e dei serbatoi di accumulo colorati (Soluzione1)

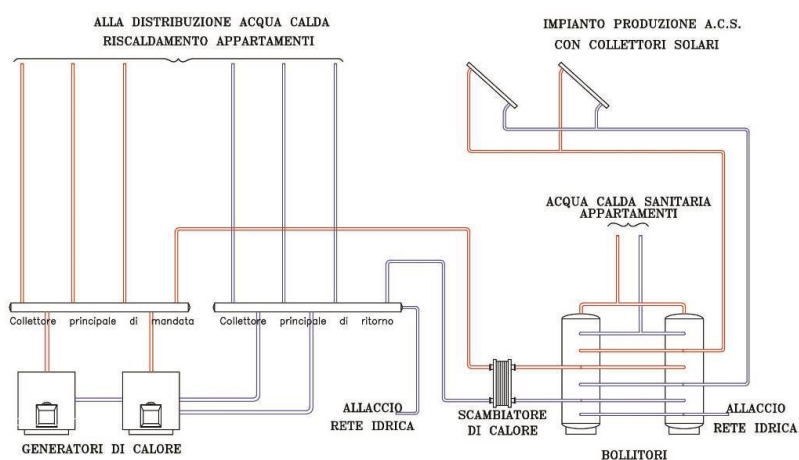


Fig. 8.8 - Soluzione 2 Centralizzata: un unico impianto solare termico centralizzato, collegato all'impianto di riscaldamento

Tabella 8.3 - Confronto delle due soluzioni del Solare Termico.

	Soluzione 1	Soluzione 2
Superficie collettori	9,0 m ² (2x 4,5m ²)	108 m ² (24 x 4,5m ²)
Inclinazione collettori	45 °	45 °
Azimut	vari (da -55 a -20)	- 20°(Civ. 22)
Volume accumulo solare	1000 litri	10.000 litri
Utenza	1,61 litri/(G m ²) 80 m ² /alloggio (8 alloggi)	1,61 litri/(G m ²) 80 m ² /alloggio (93 alloggi)
Fabbisogno annuo per ACS	10.929 kWh	127.091 kWh
Potenza solare installata	6 kW	76 kW
Resa Impianto solare	829 kWh/m ² anno	924 kWh/m ² anno
Risparmio metano all'anno	1.174 m ³ di gas	17.350 m ³ di gas
CO ₂ evitata	2.313 kg/anno	34.180 kg/anno

Tabella 8.4 - Impianto Pannelli solari collegato ai singoli alloggi-integrazione e utilizzo energia solare.

Integrazione solare	Invernale 39%	Estiva 81%	Annuale 60%
Utilizzo energia solare	Invernale 93%	Estiva 95%	Annuale 94%

Tabella 8.5 - Impianto pannelli solari centralizzato integrato al sistema di riscaldamento- integrazione e utilizzo energia solare.

Integrazione solare	Invernale 47%	Estiva 77%	Annuale 62%
Utilizzo energia solare	Invernale 98%	Estiva 99%	Annuale 98%

Il fabbisogno di ACS è stato preso in considerazione anche nel progetto con la pompa di calore elioassistita con pannelli ibridi per il sistema combinato (COMBI) per ACS e riscaldamento, descritto nel capitolo 8.3.

8.2.2 Pannelli solari fotovoltaici (PV)

Il complesso degli edifici ha le facciate principali esposte con un orientamento prevalentemente verso sud-est. Si tratta quindi di una soluzione molto favorevole all'installazione di pannelli fotovoltaici, considerando che l'esposizione verso sud ottimizza la quantità di energia raccolta su base giornaliera e annuale.

Si ipotizza l'installazione dei PV sulle coperture (angolo di tilt inclinazione ottimale di 33° con un incremento del 58% dell'energia raccolta su base annuale) e sulle facciate degli edifici (angolo di tilt intorno ai 75° con un incremento di circa il 28% dell'energia raccolta su base annua, rispetto alla posizione verticale) (Vivoli, et al. 2008).

Per il calcolo delle radiazioni solari globali giornaliere medie si è fatto riferimento alle norme UNI 103349, relativamente a superfici verticali, e alla Norma UNI 103345 per esposizione SE e pannelli con angolo tilt 90°.

La distanza minima tra le basi dei pannelli, che viene calcolata secondo la formula:

$$d = [\text{sen}(\beta) / \text{tg}(\delta)] \times L$$

L lunghezza della sezione del pannello

δ angolo di declinazione al solstizio di inverno (circa 23° a Genova)

β angolo di inclinazione del pannello rispetto all'orizzontale (Fig. 8.11).



Fig. 8.9 - Indicazione su modello 3D del posizionamento dei pannelli (Soluzione 1)

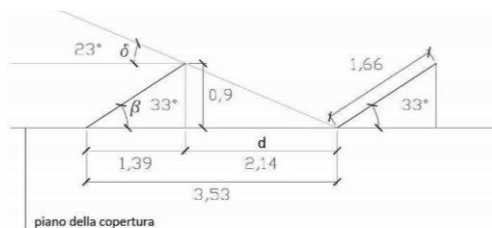


Fig. 8.11 - Distanza minima tra le basi dei pannelli

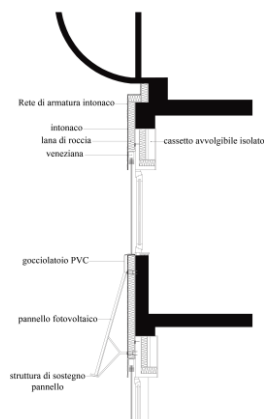


Fig. 8.10 - Sezione verticale con pannello solare facciata sud

La soluzione architettonica, che impiega un totale di 900 pannelli disposti sulle coperture e sulle facciate degli edifici è riportata nella Fig. 8.9. Tale numero di pannelli corrisponde ad una superficie complessiva di circa 1700 m², per una produzione annua di circa 309 MWh_{el} di energia elettrica, in linea con il fabbisogno elettrico totale di 307.000 kWh ipotizzato per le utenze condominiali ed i consumi privati.

Nel caso si voglia coprire l'intero fabbisogno annuo di 307.000 kWh si avrà:

- potenza da installare 246 kW di picco;
- superficie pannelli totale 1722 m²;
- costo totale ≈ 320.000 € (valore di riferimento circa 1500 €/kWp).

Fabbisogno annuo di 57.000 kWh) si avrà:

- potenza da installare 47 kWp;
- superficie pannelli totale 329 m²;
- costo totale ≈ 80.000 € (valore di riferimento circa 1700 €/kWp).

Considerando un valore di mercato dell'energia elettrica di 0,22 € per kWh da utilizzare per i conteggi, si ipotizza risulteranno circa 68.000 € per anno risparmiati.

Ciò corrisponde ad un ritorno dell'investimento in meno di cinque anni, comprendendo anche i costi di manutenzione, generalmente circa 0,5% annuo del capitale investito.

8.3 Sistema a pompa di calore elioassistita con pannelli solari ibridi PV/T

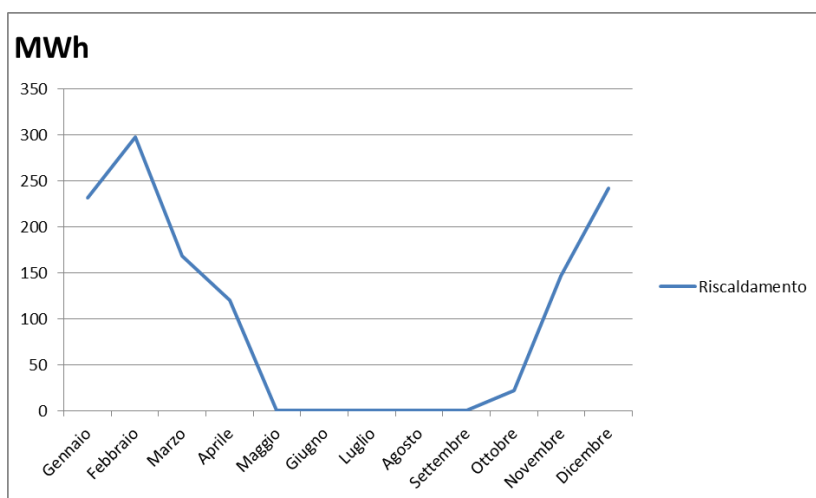
In un'ottica di risparmio energetico ed utilizzo di fonti di energia rinnovabili è stato inoltre svolto uno studio per la progettazione di un impianto con pannelli solari ibridi, che consentono sia la produzione dell'ACS che di energia elettrica.

Nel progetto viene inoltre proposta l'installazione di un sistema a pompa di calore elioassistita di adeguata potenza, per la copertura di una percentuale del fabbisogno termico degli edifici, con integrazione alla caldaia già esistente.

Lo studio è proposto anche in quanto i consumi e i relativi costi di riscaldamento risultano molto elevati.

Consumi e spese di gestione e manutenzione impianto di riscaldamento

Si riporta di seguito il profilo del fabbisogno di riscaldamento dell'intero complesso di Via leva, nel periodo di accensione della caldaia (Ottobre-Aprile) (fonte: Servizio di Gestione pluriennale delle centrali termiche a servizio di edifici di proprietà di ARTE-COFELY CMCI).



Mese	m3 metano	MWh	Costo gestione calore (€)	Costo manutenzione (€)	Costo gestione + manutenzione
ott-11	2.425	22	1.915,98	0	1.915,98
nov-11	15.217	147	12.451,58	500,36	12.951,94
dic-11	27.954	242	20.902,53	502,29	21.404,82
gen-12	23.194	232	20.002,62	505,19	20.507,81
feb-12	31.563,00	298	26.169,00	507,12	26.676,12
mar-12	18.291	168	set-40	509,05	15.379,60
apr-12	13.500	120	10.876,54	511,94	11.388,48
Totale	132.144	1.229	107.188,80	3035,95	110.224,75

Il consumo totale del riscaldamento è di 1229 MWh che equivale a 132144 m³ di metano e il costo totale di riscaldamento per la stagione invernale 2011-12, comprensivo IVA (21%) ammonta a 133371,94 €.

8.3.1 Descrizione pannelli solari ibridi

Per il progetto vengono utilizzati i pannelli solari del tipo ad acqua piani in quanto i pannelli ad aria necessitano di una struttura complessa di supporto, che deve essere inoltre sopraelevata rispetto al piano di appoggio.

Il solare fotovoltaico (modulo fotovoltaico) assorbe le radiazioni solari e la componente di energia termica viene recuperata da uno scambiatore (piastra refrigerante sottostante) che incrementa anche la produzione elettrica fino a circa il 16% in più rispetto a un pannello tradizionale.

La tecnologia dei collettori ibridi (fotovoltaici-termici) si basa sull'idea di applicare sulla piastra assorbente, coprendola parzialmente o totalmente delle celle FV. Le celle FV vengono assicurate alla superficie mediante speciali adesivi che siano resistenti alle alte temperature e si comportino essi stessi da buoni assorbitori.

$$\dot{Q}_{\text{DISPERSO}} = kA_{\text{PAN}}(T_{\text{ACS}} - T_{\text{AMB}}) -$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\dot{Q}_{\text{utile}}}{G_{\text{sol}}A_{\text{pan}}} = \frac{G_{\text{sol}}A_{\text{pan}}\varepsilon - \dot{Q}_{\text{DISPERSO}}}{G_{\text{sol}}A_{\text{pan}}}\varepsilon - \frac{kA_{\text{pan}}}{G_{\text{sol}}A_{\text{pan}}}(T_{\text{ACS}} - T_{\text{AMB}})$$

k costante dispersione calore dal pannello

ε coeff. di assorbimento en. solare

$$\varepsilon = 0,8 \div 0,9$$

$$k \approx 5 \div 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \text{ se } k \text{ è grande si avranno tante dispersioni}$$

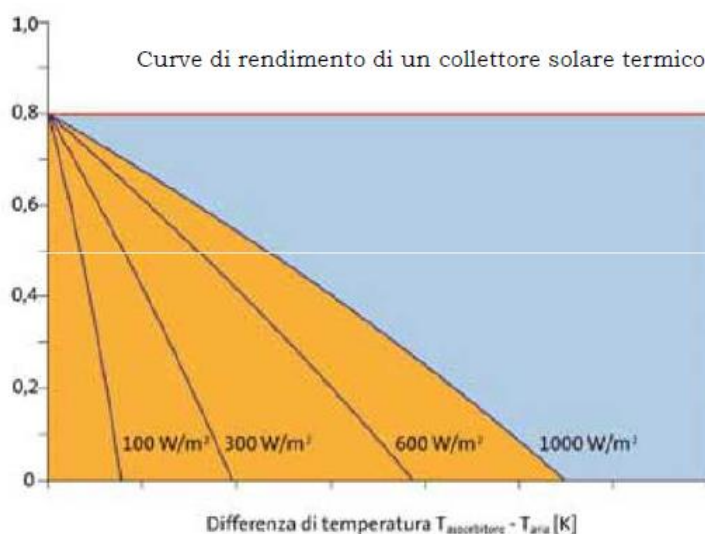


Fig. 8.12 - Curve di rendimento di un collettore solare termico

La compatibilità tra un sistema termico ed un sistema fotovoltaico non è assoluta: innanzitutto in condizioni estreme (condizioni di stagnazione) un collettore termico può arrivare a lavorare sino a temperature di 150-180°C, mentre i moduli FV sono in grado di sopportare temperature sino a 90°C (nelle condizioni normali la loro temperatura è di circa 40-50°C). Inoltre una superficie ricoperta di pannelli FV non possiede caratteristiche selettive radianti come quelle di una superficie selettiva che sfrutta il cosiddetto effetto serra: alto assorbimento nel visibile (bassa lunghezza d'onda $\lambda < 3\mu$) e bassa emissività negli infrarossi (alta lunghezza d'onda cioè con $\lambda > 3\mu$), per cui ne risente la capacità di assorbimento e di conseguenza il rendimento.

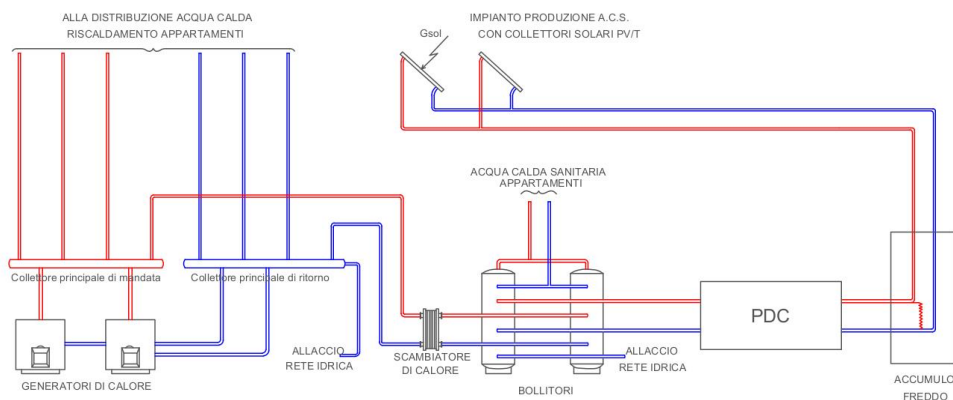
L'output termico ottimale di questa tecnologia è quello a bassa temperatura (proprio per evitare i problemi succitati).

Si possono ricavare buoni risultati per il riscaldamento dell'acqua sanitaria e per il condizionamento ambientale.

I rendimenti elettrici possono raggiungere il 15%, e il livello medio si attesta sul 10%, fino a circa il 16% in più rispetto a un pannello tradizionale.

8.3.2 Schema funzionale impianto

Schema semplificato del sistema impianto di riscaldamento e ACS.



Caratteristiche dell'impianto

Potenze di picco

1000 W/m² insolazione di picco (potenza raggiante massima solare nominale)

150 W_{el} produttività di picco elettrica ($\eta_{el} \approx 0,12$)

650 W_t produttività di picco termica ($\eta_{th} \approx 0,65$)

Energie annue medie

150 kWh_{el}/anno/m² anno energia elettrica annua mediamente prodotta

600 kWt/m² anno energia termica annua mediamente prodotta

Via Leva fa parte della categoria di edifici costruiti all'inizio degli anni '70, è un edificio di edilizia residenziale pubblica in linea a ballatoio. Il consumo energetico del riscaldamento è di circa **177 kWh / (m² anno)**, ovvero 1316880 kWh.

Se si utilizza una pompa di calore elioassistita con i pannelli ibridi si possono ottenere 600 kWt/m² anno di energia termica annua mediamente prodotta. Se si installano 1310 m² di pannelli si copre il fabbisogno del 50% di energia termica per il riscaldamento.

Energia prodotta dal sistema pompa di calore elio-assistita: circa 1 GWh/anno, il 70% del fabbisogno ACS + riscaldamento.

8.3.3 Confronto con la soluzione pannelli solari termici e fotovoltaici

Per quanto riguarda il posizionamento dei pannelli solari ibridi, questo potranno essere collocati sulle coperture, in sostituzione dei pannelli solari termici e fotovoltaici, secondo il progetto descritto al 8.1.1 e Fig. 8.8 Progetto integrato delle coperture a verde e pannelli solari.

In molti casi vi sono vincoli di spazio, che spesso portano il progettista a dover scegliere di privilegiare un fabbisogno rispetto a un altro.

Per far fronte a questi problemi di spazio si può pensare a diverse soluzioni, come per esempio integrare i pannelli solari alle facciate degli edifici, oppure utilizzare pannelli solari termici ad alto rendimento, come alcuni esemplari di quelli sottovuoto, i quali, in numero molto ridotto riescono a soddisfare il fabbisogno di riscaldamento e di Acqua Calda Sanitaria di un gran numero di alloggi.

L'utilizzo di pannelli ibridi permetterebbe un'eccellente ottimizzazione degli spazi disponibili, spesso molto limitati se si pensa per esempio ai condomini i quali hanno a disposizione una sola copertura per i fabbisogni di molti appartamenti.

Grazie alla scelta dell'inserimento dei pannelli solari ibridi sarà possibile ottenere anche una produzione di energia elettrica che può essere utilizzata sia per la circolazione forzata all'interno dei pannelli ad acqua, sia per il consumo elettrico condominiale ed il funzionamento del sistema a pompa di calore.

Ulteriori pannelli fotovoltaici potranno essere comunque installati per un'ulteriore produzione di energia elettrica anche per le singole utenze.

Il dimensionamento dell'impianto solare termico, con pannelli di superficie totale di 108 m^2 , per fornire ACS a 93 appartamenti ha un costo complessivo di 144.247 € (circa 1300 €/m²), mentre per un impianto di pannelli solari ibridi il costo è di circa 1400 €/m².

Per questa soluzione bisogna tuttavia considerare anche il collegamento all'impianto di riscaldamento e le modifiche da apportare alla centrale termica.

Per quanto riguarda i costi per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico, i prezzi del mercato si aggirano intorno ai 1700 € per ogni kW installato, ma per gli impianti di grandi dimensioni, come nel caso di Via Leva, il costo sarebbe senz'altro inferiore, fino a 1500 € per ogni kW installato $\approx 200 \text{ €/m}^2 \div 250 \text{ €/m}^2$.

Tale parametro tiene in considerazione i costi complessivi dell'impianto, comprensivo di tutti i componenti del sistema e della loro installazione.

8.4 Conclusioni e cenni analisi dei costi e finanziamenti

L'ipotesi di riqualificazione del complesso degli edifici di Via Pietro Leva a Genova ha offerto l'opportunità di definire un modello flessibile di analisi, progettazione, valutazione e finanziamento degli interventi proposti, modello che potrebbe essere applicato anche per altri progetti di riqualificazione di edifici residenziali pubblici, ovvero ad altre tipologie di edificio.

Per quanto riguarda i costi degli interventi ed il loro finanziamento si deve considerare che per la riqualificazione del complesso edilizio preso in esame occorre considerare i costi dei vari interventi: la rimozione dell'amianto delle coperture, il tetto verde, il cappotto, gli infissi, i ponteggi, l'impianto solare termico per ACS e fotovoltaico.

Il complesso degli interventi risulta di circa 2.500.000 €, che corrisponde ad un costo di 26.000-27.000 € per alloggio (93 alloggi).

Tali costi derivano da indicazioni o preventivi forniti dalle aziende che hanno contribuito con esempi di materiali da utilizzare o procedure da seguire nei vari interventi, o ancora con esempi di dimensionamenti degli impianti e devono considerarsi solo a livello di ordine di grandezza.

I pesi percentuali delle varie voci rispetto al totale generale dei costi, ha evidenziato che il costo maggiore è rappresentato dalla riqualificazione dell'involucro, con oltre il 60%. Tale voce comprende anche i ponteggi che incidono per circa il 9%. Il capitolo di spesa maggiore dell'involucro è imputabile alla sostituzione degli infissi (28-29%).

Di una certa rilevanza è anche la realizzazione dell'impianto solare termico per ACS (19% nella soluzione 1, 15% nella soluzione centralizzata). L'impianto dei pannelli fotovoltaici ha un'incidenza di circa il 13% sui costi totali, mentre la realizzazione dei tetti verdi incide relativamente poco, con costi intorno al 4%, che sommati al 5% della rimozione dell'amianto, portano a circa il 9% del costo complessivo l'intervento sulle coperture degli edifici.

Nel caso di utilizzo del sistema a pompe di calore elioassistita con pannelli ibridi, questo andrebbe in alternativa al sistema fotovoltaico con costi paragonabili a quelli dei pannelli solari con il vantaggio di produrre anche una parte della produzione dell'acqua calda sanitaria e riscaldamento.

Lo studio evidenzia che gli interventi sono abbastanza indipendenti gli uni dagli altri e potrebbero quindi essere programmati anche in successione, considerando anche interventi parziali per tipologia e cercando di sfruttarne l'economia di scala intervenendo su tutti gli edifici.

Si può ipotizzare un notevole salto nella Classe di prestazione energetica globale degli edifici stessi, come conseguenza della realizzazione di tutti gli interventi previsti. Molto probabilmente si potrebbe arrivare in Classe B, qualora si intervenisse anche sull'impianto di riscaldamento con l'installazione di termoregolatori intelligenti sui singoli termosifoni all'interno degli appartamenti.

Tali interventi costituirebbero una evidente valorizzazione del patrimonio di A.R.T.E.

Un modello di finanziamento potrebbe coinvolgere soggetti e finanziamenti pubblici e privati, come ad esempio le ESCO, in modo da apportare effetti moltiplicativi delle risorse pubbliche messe a disposizione. La combinazione di questi finanziamenti, anche alla luce di possibili incentivi fiscali e/o contributi statali, può considerarsi un modello capace di integrare diversi finanziamenti che si possono auto innescare, per ottenere le risorse finanziarie necessarie alla realizzazione degli interventi, promuovendo altresì la partecipazione volontaria dei destinatari degli alloggi.

Bibliografia

- [1] UNI. 2007. Elementi primari copertura verde. Norma UNI 11235. Milano: Ente Italiano di unificazione
- [2] C. Benedetti, Guide pratiche del Master CasaClima (2012). Bolzano: bu.press
- [3] F. Vivoli, S. Castello, F. De Lia, G. Graditi, A. Scognamiglio, L. Zingarelli, R. Schioppo, Progettare e installare un impianto fotovoltaico (2008). Roma: ENEA – Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente.
- [4] UNI. 2008. Componenti ed elementi per l'edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo. Norma UNI EN ISO 6946. Milano: Ente Italiano di unificazione
- [5] UNI. 2014. Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria. Norma UNI TS 11300-2. Milano: Ente Italiano di unificazione
- [6] C. Saio, A. Magliocco, L. A. Tagliafico, Riqualificazione Edilizia Residenziale Pubblica - il caso studio di Via Pietro Leva in Genova, 33 Convegno Nazionale "Comfort e risparmio energetico negli edifici esistenti: diagnosi, contabilizzazione, monitoraggio, building automation" (2015)

9. SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E IMPATTO PAESAGGISTICO, ECONOMICO E SOCIALE NELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Dopo i capitoli tecnici relativi alla parte impiantistica, all'isolamento e alla simulazione termoeconomica e ai casi di studio sviluppati durante il Dottorato, questo capitolo tratta gli aspetti socio economici del tema della riqualificazione energetica degli edifici, con considerazioni circa il risparmio energetico e riduzione di CO₂ nell'ambiente e rispetto a linee guida per l'integrazione degli impianti che utilizzano fonti di energia rinnovabili nel paesaggio e nell'architettura. In questo capitolo viene anche sottolineata l'importanza del coinvolgimento degli utenti nella riqualificazione energetica dei condomini, dei finanziamenti e del ruolo delle istituzioni.

Aspetti generali

Si deve considerare che gran parte dell'edificato in Italia, circa l'80%, è antecedente al 1970 ed è stato costruito senza criteri di risparmio energetico, quindi si discosta molto dalle prestazioni imposte dalle norme che si applicano per gli edifici di nuova costruzione.

Negli ultimi anni c'è stata una maggiore consapevolezza dei costi dell'inefficienza energetica anche per quanto riguarda gli edifici esistenti, con politiche atte a favorire interventi di ristrutturazione e riqualificazione, anche con incentivi fiscali e contributi finanziari.

Il tema è rilevante per gli aspetti economici, sociali e tecnici che la riqualificazione implica ed è stato sviluppato nella prima parte di questo lavoro attraverso lo studio preliminare della storia, delle caratteristiche e problematiche dell'edilizia popolare (Roberto, 1999) (Bobbio et al., 2009) e delle normative vigenti in termini di riqualificazione ed efficienza energetica, nonché da valutazioni sulle politiche e sugli interventi di carattere urbano.

Le problematiche di inefficienza energetica del patrimonio edilizio esistente sono ancora più evidenti nell'edilizia residenziale pubblica, in quanto trattandosi per lo più di edilizia economica e popolare, la logica nella pianificazione era quella di costruire grandi edifici in quantità, con un numero elevato di alloggi a costi limitati, privilegiando tempi e costi di costruzione ridotti, rispetto alla qualità del costruito. In particolar modo questa è stata la logica perseguita nel periodo post bellico e, successivamente, fino agli anni '90, ossia durante gli anni di grande espansione edilizia.

In generale tale approccio comporta elevati costi di gestione, che si ripercuotono nel tempo sui bilanci economici degli enti pubblici e quindi sull'intera collettività.

Si può affermare che gli edifici di edilizia residenziale pubblica sono nell'insieme i più problematici da un punto di vista dell'efficienza energetica, ma offrono anche interessanti opportunità per progetti di riqualificazione complessiva.

E' interessante osservare che i quartieri ERP (Edilizia Residenziale Pubblica) molto spesso ancora oggi hanno una proprietà quasi unitaria e sono stati progettati unitariamente, per cui può essere più facile, con un singolo progetto, interessare un notevole numero di alloggi; inoltre si può considerare la presenza nel quartiere di contesti limitrofi di edilizia pubblica, asserviti alla stessa proprietà, che possono essere interessati anch'essi da interventi di

riqualificazione urbanistica ed energetica, con la possibilità di ampie economie di scala negli interventi.

Da queste considerazioni emerge l'interesse per lo studio della riqualificazione di edifici residenziali pubblici, che viene trattato attraverso un caso studio nel capitolo 8.

9.1 Risparmio energetico e riduzione di CO₂ nell'ambiente

Una presa di coscienza del problema ambientale si è verificata in seguito alla crisi energetica del 1973, dovuta al conflitto fra Israele, Egitto e Siria e alla conseguente sospensione da parte dei paesi arabi delle forniture di petrolio destinato a Europa e Stati Uniti e a una seconda fase di riconoscimento del problema ambientale, con attenzione non solo rivolta alla questione dell'esaurimento delle risorse ma anche alla salvaguardia dell'ambiente, valenze e capacità rigenerative.

Nel Rapporto della Commissione mondiale su Ambiente e Sviluppo del 1987, venne formulata una definizione di "sviluppo sostenibile" come sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere le capacità delle generazioni successive di soddisfare i propri (WCED, 1987).

Atto di politica ambientale di notevole importanza è stato poi il Protocollo di Kyoto del 1997, negoziato da 160 paesi. Esso ha stabilito le misure per la riduzione delle emissioni di anidride carbonica, metano, protossido di azoto, fluorocarburi idrati, perfluorocarburi, esafluoruro di zolfo, che comportano cambiamenti climatici globali ed effetto serra.

Il ruolo degli edifici verso gli obiettivi del programma 20-20-20

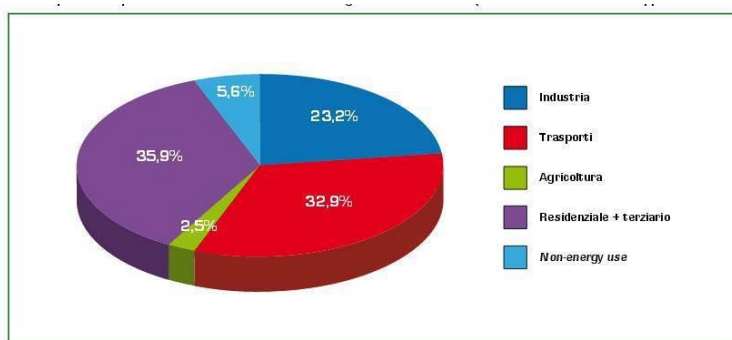
Nell'ambito del Piano 20-20-20 della Commissione Europea, il ruolo del settore civile, in modo particolare quello residenziale, è fondamentale in quanto questo comparto ha forti ripercussioni su tutti i tre obiettivi che l'Unione Europea si è posta, entro il 2020.

La **riduzione delle emissioni di gas serra** è strettamente collegata alla **riduzione del 20% dei consumi** e alla **produzione del 20% di energia da fonti rinnovabili**.

Le caratteristiche del patrimonio edilizio europeo e italiano in particolare offrono molteplici occasioni attraverso cui perseguire gli obiettivi prefissati.

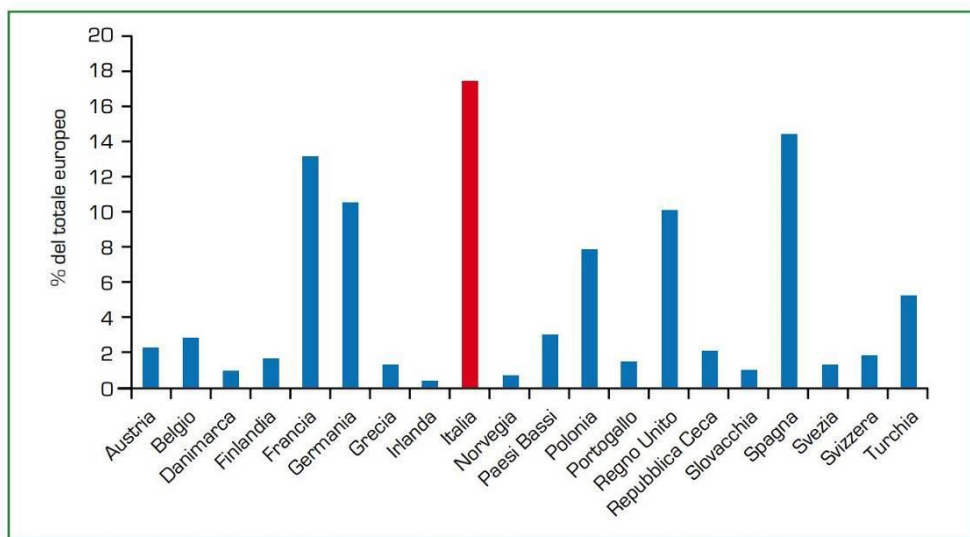
Attraverso alcuni dati numerici sarà facile comprendere il ruolo e le potenzialità degli edifici nonché i progressi già raggiunti in questo settore.

La seguente tabella riporta gli impieghi finali di energia in valore assoluto e divise per settore, relativi all'Italia. E' facile comprendere l'importanza del settore civile e di quello residenziale, essendo quest'ultimo circa il 36% del totale, come riportato in figura.



Per quanto riguarda le emissioni di gas serra, in gran parte CO₂, a livello di macrosettori le quantità più rilevanti sono da addebitare alla produzione di energia (centrali termoelettriche) e al settore dei trasporti con il settore residenziale al 9%

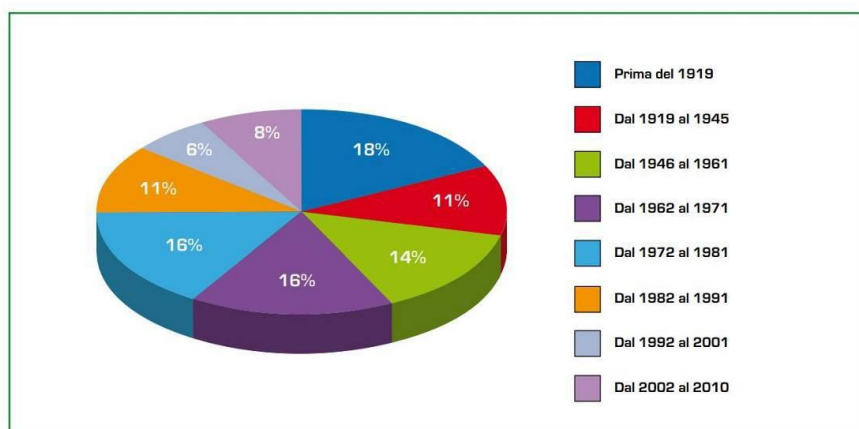
Se però si scorpora il dato relativo all'edilizia nelle percentuali della produzione di energia e delle industrie il dato complessivo del settore edilizia civile diventa predominante tanto da collocare l'Italia al primo posto in Europa per emissioni di CO₂ da edifici. E' quindi evidente come ridurre i consumi di questo settore abbia notevoli ripercussioni sulle emissioni totali.



Questi dati particolarmente significativi in Italia sono dovuti a diversi fattori tra i quali senza dubbio possiamo annoverare l'epoca di costruzione degli edifici e di conseguenza le caratteristiche costruttive degli stessi fabbricati, il loro stato di manutenzione nonché una scarsa propensione a effettuare interventi di miglioria sugli edifici da parte dei proprietari, in particolare per quanto riguarda le prestazioni dell'involucro opaco.

Come si può notare dal grafico sottostante solo il 14% degli edifici è stato costruito dopo il 1991, anno in cui è entrata in vigore la **legge 10/1991** "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia". Questa legge con i successivi decreti per la prima volta stabiliva dei valori di rendimento degli impianti di riscaldamento e di trasmittanza degli

involucro opaco e trasparente e prescriveva di rispettare questi valori in caso di nuove costruzioni o ristrutturazione.



L'importanza di una normativa in tal senso è tanto più evidente se si osserva come a fronte del 14% di edifici costruiti dopo il 1991, ben il 57% è stato costruito tra il 1945 e il 1991, anni in cui prima per la necessità della ricostruzione post-bellica, poi per il boom economico e per l'emergenza abitativa venutasi a creare in molte grandi città, era talmente forte l'esigenza di costruire rapidamente nuovi edifici civili che, al netto delle tecnologie disponibili, nella maggior parte dei casi la qualità di quanto realizzato in quegli anni dal punto di vista energetico lasciasse molto a desiderare.

Questo modus operandi ha lasciato alla generazione successiva una serie di costruzioni tutto sommato recenti ma che presto si sono dimostrate meno efficienti dal punto di vista energetico di quelle costruite diversi decenni prima e nel peggiore dei casi anche bisognose di interventi strutturali che per forze di cose hanno avuto la priorità su interventi di efficientamento energetico.

Obiettivi per uno Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (UNESCO)

Occorre ripensare al concetto di sostenibilità, considerando oltre agli aspetti ambientali anche quelli sociali. Questo difatti dovrebbe essere reinterpretato secondo i nuovi obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals, <https://en.unesco.org/sdgs>) definiti dall'UNESCO, l'Agenzia delle Nazioni Unite per l'Educazione, la Scienza e la Cultura.

Nel settembre 2015 l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha adottato l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, nella quale si delineano a livello mondiale le direttrici delle attività per i successivi 15 anni.

I 17 obiettivi per uno Sviluppo Sostenibile che compongono l'Agenda 2030 rappresentano il piano di azione globale delle Nazioni Unite per sradicare la povertà, proteggere il pianeta e garantire la prosperità per tutti:

1. povertà zero;
2. fame zero;
3. salute e benessere;

4. istruzione di qualità;
5. uguaglianza di genere;
6. acqua pulita e igiene;
7. energia pulita accessibile;
8. lavoro dignitoso e crescita economica;
9. industria innovazione e infrastrutture;
10. ridurre le disuguaglianze;
11. città e comunità sostenibili;
12. consumo e riproduzione responsabili;
13. agire per il clima;
14. la vita sott'acqua;
15. la vita sulla Terra;
16. pace giustizia e istituzioni forti;
17. partnership degli obiettivi.

Gli obiettivi 7, 9, 11, 12, 13, 15 e 17 sono correlabili direttamente o indirettamente alla politiche collegate all'efficienza energetica e quindi anche al tema nZEB.

9.2 Linee guida per l'integrazione degli impianti che utilizzano fonti di energia rinnovabili nel paesaggio e nell'architettura

L'inserimento di energie rinnovabili negli edifici storici viene trattato secondo le Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel Patrimonio Culturale.

Si fa riferimento in particolare al Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia. Legge 90/2013.

L'esclusione dall'applicazione del suddetto decreto è opportunamente prevista solo nel caso in cui si accerti, previo giudizio dell'autorità competente al rilascio dell'autorizzazione ai sensi del codice di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, (ovvero gli organi periferici del Ministero) il rispetto delle prescrizioni implichi un'alterazione sostanziale del loro carattere o aspetto, con particolare riferimento ai profili storici, artistici e paesaggistici.

Gli studi di fattibilità dovranno esaminare almeno i seguenti aspetti, dal punto di vista energetico:

- Adeguamento delle strutture edilizie esistenti sia sotto l'aspetto dell'involucro che dell'igiene Ambientale mediante l'isolamento delle murature e delle coperture e la sostituzione degli infissi, per il raggiungimento di valori di trasmittanza ridotti;
- Adeguate condizioni termo-igrometriche, illuminotecniche, acustiche e di salubrità degli ambienti;
- Ricambi d'aria adeguati, ma con numero ricambi [vol/h] attraverso ventilazione a regime intermittente (per la riduzione dei consumi nei periodi in cui non viene utilizzato il locale);

- Integrazione nelle strutture esistenti di sistemi di risparmio energetico sia attivi che passivi;
- Ricorso a fonti rinnovabili per il soddisfacimento dei fabbisogni energetici;
- Introduzione di sistemi computerizzati di monitoraggio energetico

Linee guida per l'installazione di impianti nel rispetto dei vincoli paesaggistici,

L'obiettivo è quello di ridurre l'impatto dei nuovi impianti sulle antiche preesistenze.

1) A carattere generale

- Negli edifici storici o di pregio, la progettazione degli impianti di energia da fonti rinnovabili deve essere improntata sulla logica dell'integrazione e del mimetismo nel rispetto delle caratteristiche storiche, architettoniche e ambientali che connotano questi ambiti.
- Devono essere valutate le viste dal basso e le viste da luoghi ad accessibilità turistica.
- Per mantenere inalterata la visione del contesto paesaggistico che si sviluppa lungo i percorsi storici composti da edifici, muri e recinzioni, gli impianti devono essere collocati al di là dei muri che chiudono le visuali, sulle falde dei tetti non visibili a chi transita sui percorsi senza pregiudicarne la visione dal basso delle coperture.
- Nei casi di aree individuate limitrofe ai forti in questione, facenti parte di ambiti agricoli, l'inserimento di un impianto fotovoltaico/termico/eolico in un ambito agricolo richiede una lettura attenta del contesto, sotto il profilo paesaggistico e panoramico.
- Per bene inserirsi nel contesto l'impianto solare termico/fotovoltaico/eolico non dovrà essere collocato sulla copertura del corpo principale, di solito più alto e panoramicamente più visibile, ma su quella dei corpi accessori e secondari, ovvero a terra, su superfici limitrofe non utilizzate o su superfici di copertura accessoria (parcheggi, pensiline, etc.).
- Se collocato sul terreno dovrà essere ricercata una posizione defilata evitando campi produttivi; la forma e la disposizione di tali impianti dovrà assecondare l'orografia naturale del terreno.

2) Fotovoltaico

- Individuata la giusta posizione, l'impianto di pannelli solari deve integrarsi alla falda di copertura, la sua superficie non deve risultare prevalente rispetto alla superficie della falda, mentre i contenitori di accumulo dell'acqua calda dell'impianto solare termico saranno sempre collocati all'interno dell'edificio.
- Non dovranno essere installati impianti su pergolati, salvo se integrati adeguatamente negli stessi.
- Negli ambiti agricoli è prevalente l'opportunità di collocare gli impianti su coperture in marsigliesi o in ardesia, oppure su piccole serre.

- Nel caso si volessero impiegare delle serre negli ambiti agricoli agli edifici storici, si potranno inserire anche dei pannelli fotovoltaici integrati alle coperture o alle pareti delle serre. Si devono tuttavia seguire determinati metodi: si possono utilizzare pannelli in vetro a film sottile o a cellule singole. I pannelli ciechi monocristallini o policristallini possono essere utilizzati solo quando la loro superficie è ridotta rispetto a quella della serra e in questo caso devono essere collocati su un'unica fila ai margini superiore o inferiore della falda.

3) Eolico

- Può essere conveniente, come è stato per il progetto dei Forti di Genova, data la loro forma geometrica articolata, la scelta di utilizzo di pale eoliche, in alternativa od in abbinamento ai pannelli solari (termici, fotovoltaici, ibridi) per convertire l'energia eolica in energia elettrica. La scelta deve essere fatta in seguito allo studio dell'esposizione solare e degli ombreggiamenti sulle cortine murarie e sui bastioni, ed a rilevazioni di velocità del vento.

4) Solare termico

- I pannelli solari termici, in quanto caratterizzati da superfici completamente opache, non si prestano all'integrazione architettonica sulle serre.
- Aerogeneratori microeolici possono essere installati all'interno di manufatti che nascondono le componenti per il loro funzionamento (inverter, generatore, albero...), mentre la turbina sarà fuoriuscente, esposta al vento per sfruttarne la potenza.

Nell'allegato A3 vengono riportate alcune considerazioni sulle installazioni di alcune tipologie di impianti e le misure di attenzione e mitigazione, contenute nell'allegato del PEAR della Regione Liguria [6].

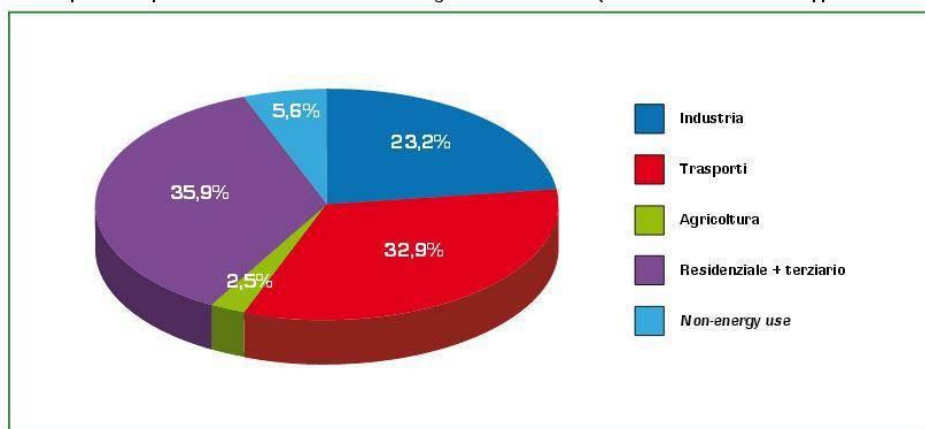
9.3 Il coinvolgimento degli utenti nella riqualificazione energetica dei condomini

Nel capitolo 7.2 si è parlato del ruolo degli edifici verso gli obiettivi del Programma 20-20-20 della Commissione Europea, della ricostruzione post bellica e delle condizioni delle abitazioni recenti meno efficienti dal punto di vista energetico rispetto a quelle costruite in precedenza.

Interessante e non secondario è anche analizzare l'aspetto psicologico che influenza i proprietari e gli inquilini i quali, sapendo di abitare in costruzioni relativamente recenti, percepiscono con più difficoltà la necessità di un ammodernamento legato alla riduzione dei consumi energetici. A questo bisogna aggiungere anche la quasi totale mancanza di una coscienza ecologista la quale, esclusa la parentesi della crisi energetica del 1973, solo negli ultimi anni, in virtù di inusuali e pericolosi eventi atmosferici, ha fatto breccia nella popolazione rendendola più sensibile verso operazioni di riqualificazione, anche in forza dei notevoli incentivi concessi dal governo.

È evidente che gli interventi di riqualificazione abbiano tempi di ritorno piuttosto lunghi, soprattutto quelli inerenti l'involucro opaco e che quindi vengano preferite azioni di ammodernamento degli impianti di riscaldamento o di produzione di energia da fonte rinnovabile, ma è da un'azione combinata sul sistema involucro-impianto che si possono ottenere i risultati migliori.

La tendenza dell'utente residenziale a concentrarsi su una certa tipologia di intervento è ben rappresentata dal grafico seguente.



È altresì evidente come le strutture opache rivestano un ruolo del tutto inadeguato dal punto di vista degli investimenti rispetto all'importanza che ricoprono nell'efficienza complessiva dell'edificio mentre, sempre per quanto riguarda l'involucro, grande diffusione hanno avuto gli interventi sulle chiusure vetrate.

Questo può essere spiegato oltre che per la maggior facilità di intervento su un serramento che su una superficie opaca, per la maggior resa visiva del primo intervento rispetto al secondo; si è infatti più disposti a investire su qualcosa che è più visibile, rispetto a ciò che rimane nascosto dietro uno strato di intonaco.

È pertanto importante seguire il filone ecologista e il rispetto per l'ambiente, promuovendo le tecnologie per il risparmio energetico e l'utilizzo di energie da fonti rinnovabili, con una adeguata comunicazione, lo stanziamento di incentivi e l'utilizzo di formule di intervento che garantiscano un risparmio energetico e al contempo un ritorno economico per i proprietari e gli inquilini delle abitazioni.

Un discorso molto più ampio si può fare per i condomini, poiché, come afferma Italo Calvino commentando il libro di George Perec, "ogni appartamento dello stabile cela un mistero, un dramma, una peripezia... Le cento stanze diventano le Mille e una notte". Il coinvolgimento di tutti i condomini e dell'amministratore del condominio nella riqualificazione energetica dell'immobile può essere accuratamente analizzato in un altro studio, insieme alle relazioni sociali e alle procedure decisionali che le assemblee di condominio e le convivenze comportano.

Sempre il libro di Perec ambientato nella Parigi di inizio '900, ad esempio riporta il caso dell'installazione della caldaia e di altri interventi. Anche oggi bisognerebbe fare un passo culturale in più per l'introduzione delle nuove tecnologie a basso impatto ambientale, giustificandone le spese.

“L’installazione del riscaldamento centrale è cosa relativamente recente. Fintantoché i Gratiolet ebbero la maggioranza in seno alla comproprietà, si opposero con accanimento a una spesa che giudicavano superflua, scaldandosi lor stessi, come del resto quasi tutti i parigini di quell’epoca, con caminetti e stufe a legna o a carbone. Fu solo all’inizio degli anni sessanta, quando Olivier Gratiolet vendette a Roshash la quasi totalità delle quote residue, che i lavori vennero approvati ed eseguiti, insieme al rifacimento completo del tetto e al costoso programma di rintonacatura” (Georges Perec 2016).

Georges Perec nel suo libro indaga gli aspetti sociali ed umani della convivenza, prendendo come esempio il condominio. È indubbio infatti che il condominio sia una delle forme principali di convivenza e di costruzione dei rapporti di socialità e, in piccolo rappresenti la nostra capacità anche politica e non solo economica di ben amministrarci, di investire sui nostri beni, di costruire la nostra vita secondo adeguate “istruzioni per l’uso” (F. della Puppa, U. Anitori, 2016).

È quindi questione di cultura e il ruolo di ciascun singolo condomino, in relazione ai membri dell’intero condominio è elemento importante nella scelta degli interventi.

Gli interventi prioritari degli edifici andrebbero quindi visti nel loro complesso, affiancando i problemi energetici, con quelli strutturali e sismici, attraverso un confronto tra i diversi esperti delle costruzioni.

Per quanto riguarda l’edilizia residenziale pubblica, andrebbero pianificati importanti investimenti, uniti alla partecipazione volontaria dei destinatari degli alloggi, con assemblee e giornate informative per la promulgazione di tali tematiche, in un’ottica di cooperazione e risparmio collettivo.

L’interazione con l’utente è un elemento fondamentale ai fini di raggiungere un elevato risparmio energetico e allo stesso tempo garantire il comfort degli utenti.

Il coinvolgimento dell’utente si può ottenere introducendo indicatori di prestazione ambientale rapportati ai modelli comportamentali.

Rilevante diventa quindi l’interazione con l’utente e l’interazione con le reti, anche per sfruttare le potenzialità adattive dei componenti di involucro trasparenti con proprietà responsive e attive.

Occorre pertanto perseguire lo sviluppo di soluzioni multi-dominio, lavorando sugli indici, ai fini di trovare un indicatore corretto che permetta di fotografare la situazione, che tenga conto anche dell’interazione con l’utente, dei modelli comportamentali, del voto medio previsto (da PMV a PMV*), della situazione di discomfort e della radiazione solare della finestra.

9.4 Finanziamenti

Il modello di finanziamento ottimale dovrebbe coinvolgere soggetti e finanziamenti pubblici e privati, i primi che siano in grado di apportare effetti moltiplicativi delle risorse pubbliche messe a disposizione.

Il modello di finanziamento dovrebbe quindi considerare varie possibilità complementari fra loro.

La combinazione di questi finanziamenti, anche alla luce di possibili incentivi fiscali e/o contributi statali, può considerarsi un modello capace di integrare diversi finanziamenti che si possono auto innescare, nel senso che il finanziamento può essere anche solo parziale e innescare altri finanziamenti per ottenere le risorse finanziarie necessarie alla realizzazione degli interventi, che possono essere realizzati anche in fasi successive, ma con il disegno complessivo di una progettazione integrata.

Modello ESCO

Anche le ESCO (ENERGY SERVICE COMPANY) giocano un ruolo importante.

Le ESCO sono soggetti specializzati nei settori:

- Efficienza energetica (EE)
- Energie rinnovabili (FER)
- Generazione distribuita (GD)

Le attività principali sono:

- Diagnosi energetiche
- Progettazione, realizzazione e manutenzione interventi
- Monitoraggio energetico e ambientale
- Sistema Gestione Energia - ISO 50001
- Gestione titoli energetici: Titoli di Efficienza Energetica (TEE), Quote Emissione di CO₂
- Reperimento risorse finanziarie
- Formazione, Informazione, Comunicazione

Il **D.Lgs. 115/2008** definisce una Energy Service Company:

“Persona fisica o giuridica che fornisce servizi energetici ovvero altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica nelle installazioni o nei locali dell'utente e ciò facendo, accetta un certo margine di rischio finanziario. Il pagamento dei servizi forniti si basa, totalmente o parzialmente, sul miglioramento dell'efficienza energetica conseguito e sul raggiungimento di altri criteri di rendimento stabiliti”.

La **norma UNI CEI 11352:2014** definisce i requisiti generali delle Esco:

- a) saper svolgere un servizio di efficienza energetica conforme alla UNI CEI EN 15900
- b) saper svolgere tutte le 12 attività previste dalla norma
- c) possedere le capacità organizzativa, diagnostica, progettuale, gestionale, economica e finanziaria

- d) offrire garanzia contrattuale di miglioramento dell'efficienza energetica, con assunzione in proprio dei rischi tecnici e finanziari
- e) collegare la remunerazione dei servizi e delle attività fornite al miglioramento dell'efficienza energetica e ai risparmi conseguiti
- f) garantire la disponibilità al Cliente dei dati misurati mediante adeguata reportistica

Il modello ESCO prevede il finanziamento da parte di istituti finanziari autorizzati come ESCO e consiste nell'erogazione dei finanziamenti necessari agli interventi o ad una parte di essi e al recupero degli stessi con l'aggiunta degli oneri finanziari, su un numero di anni da definire caso per caso, in genere si attuano interventi con ammortamenti in 5-6 anni, ma si possono ipotizzare periodi più lunghi.

Il recupero dell'investimento avviene con il pagamento da parte dei beneficiari. I vantaggi economici, oltre a quelli indubbi di riqualificazione che sono immediati, saranno quindi evidenti dopo il periodo di ammortamento.

Ad esempio, l'ipotesi di riqualificazione del complesso degli edifici di Via Leva presentata come caso studio nel capitolo 6, ha offerto l'opportunità di definire un modello flessibile di analisi, progettazione, valutazione e finanziamento degli interventi proposti, modello che potrebbe essere applicato anche per altri progetti di riqualificazione di ERP, ovvero ad altre tipologie di edificio.

Per quanto riguarda il ruolo delle istituzioni, nella riqualificazione degli edifici pubblici, questi dovrebbero dare il buon esempio e diventare un modello anche per gli edifici privati.

Infatti, nel caso dei bandi di concessione di alcuni immobili a privati, ad esempio, è importante stabilire alcuni requisiti per il risparmio energetico, dando la priorità a quelle attività che prestano maggiore attenzione all'ambiente, al risparmio energetico e all'utilizzo di energia da fonti rinnovabili.

Ad esempio il Programma di valorizzazione del sistema dei Forti del Comune di Genova rappresenta un caso emblematico, essendo sfrutto degli sforzi congiunti fra poteri pubblici e iniziative private, un vasto complesso a destinazione multipla, rispettoso dell'equilibrio ecologico-ambientale, ma suscettibile di beneficiare delle attrezzature socio-culturali indispensabili per un'auspicabile umanizzazione dalla vita contemporanea, in un contesto storico.

Si tratta pertanto di un connubio tra pubblico e privato.

Bibliografia e Riferimenti

- [1] F. Roberto, L'edilizia residenziale pubblica a Genova nella prima metà del Novecento (1999)-Compagnia dei Librai, Genova, Italia.
- [2] A.R.T.E. Azienda Regionale Territoriale per l'Edilizia della Provincia di Genova, Un secolo di storia al servizio dell'edilizia sociale, a cura di Roberto Bobbio, Giovanna Franco, Giovanni Giudice e Paola Castagnino-Genova (2009).
- [3] G. Perec, La vita istruzioni per l'uso (2016), BUR Rizzoli
- [4] F. della Puppa, U.Anitori, Condominio sostenibile. Le scelte giuste per la salute della casa e del portafoglio (2013), Virginia Gambino editore
- [5] Portale Energy Strategy (Politecnico di Milano), www.energystrategy.it
- [6] Piano energetico ambientale PEAR 2014-2020 Regione Liguria

10 TRAINEESHIP ALL'UNIVERSITÀ DI NIZZA SOPHIA ANTIPOLIS E ALL'ECOLE DES MINES DE PARIS.

Parte del Dottorato è stato svolto come uno stage di formazione presso all'Università di Nizza Sophia Antipolis e all'Ecole des Mines de Paris finalizzato a (titolo Traineeship):

Studio dei criteri e delle metodologie per l'efficienza energetica degli edifici e l'utilizzo delle tecnologie dei sistemi di energie rinnovabili verso delle soluzioni nZEB (nearly Zero Energy Building), attraverso simulazione termoeenergetiche dinamiche HVAC .

Tutor: Pascal Henry BIWOLE

Maître de Conférences, Université de Nice Sophia Antipolis

Directeur Département Bâtiments, Polytech Nice Sophia

Laboratoire J-A Dieudonné, Parc Valrose Nice

10.1 Attività di ricerca all'Università di Nizza Sophia Antipolis

L'attività di ricerca svolta durante lo stage è stata rivolta allo studio dei criteri e delle metodologie per l'efficienza energetica dell'edificio, l'utilizzo di tecnologie basate su sistemi energetici a fonti rinnovabili e l'ottimizzazione dei risultati della progettazione energetica.

I risultati dello studio sono stati conseguiti attraverso la simulazione termica HVAC degli edifici verso nZEB (edifici a energia quasi zero), per il retrofit funzionale delle costruzioni esistenti, con adeguati software di simulazione termica per analisi dinamica edificio-impianto, come il software Energy Plus, basato su modellazione "zonale", in dettaglio temporale (funzionamento per l'intera stagione invernale e per quella estiva).

Nello studio, sono state proposte misure di miglioramento per ridurre l'impatto dell'inefficienza energetica degli edifici, quantificando sia il risparmio che il valore economico di tali interventi.

Allo scopo di ridurre al minimo i costi globali (investimenti e costi di funzionamento) sono stati ricercati i requisiti di prestazioni energetiche, nella logica di nZEB, come indicato nella Direttiva Europea 2010/31/UE.

Le attività di ricerca del tirocinio sono state principalmente correlate allo studio delle soluzioni dei sistemi energetici per il tema del retrofit edilizio e delle loro applicazioni in diversi casi studio. Il lavoro è stato sviluppato con progetti pilota realizzati con il sostegno di diagnosi energetiche per le principali tipologie di edifici, con delle ipotesi di intervento, i relativi costi economici e dei possibili finanziamenti.

È stato inoltre studiato l'impatto delle scelte di progettazione, per realizzare e raggiungere l'obiettivo di riqualificazione energetica degli edifici esistenti.

In particolare, è stato condotto uno studio su un prototipo di cellula solare passiva esistente, su un appartamento, su una casa unifamiliare e su un edificio di tipo storico e militare.

Per ognuno di questi casi, è stato sviluppato un modello numerico in Energy Plus, al fine di analizzare i fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento, e i costi, in funzione delle diverse costruzioni, del tipo di isolamento termico e delle tipologie di infissi.

Lo studio è stato inoltre sviluppato per diversi climi, con l'utilizzo di tecnologie basate sui sistemi energetici da fonti rinnovabili e al fine di ottenere l'ottimizzazione della produzione energetica, dei relativi costi economici e delle emissioni di CO₂ nell'ambiente.

I principali risultati dello studio conseguiti durante il tirocinio sono relativi a:

- Integrazione di impianti a energia rinnovabile (pompe di calore, ST termico solare, PV fotovoltaico) con il sistema di edificio-impianto
- Studio e applicazione di nuove tecnologie per l'efficienza energetica degli edifici, attraverso involucri avanzati per edilizia, come ad esempio l'isolamento termico con l'aerogel a base di silice
- Analisi del contesto, secondo i vincoli architettonici / paesaggistici locali
- Integrazione di isolanti termici a base di silice negli edifici storici
- Analisi per l'isolamento termico di diverse strutture di muratura esterna e delle relative prestazioni energetiche, tenendo conto dei criteri di valutazione definiti quali dispersioni termiche, sfasamento, smorzamento o fattore di decremento, indice comfort
- Lo studio della dipendenza dello spessore della struttura della muratura dal set-point di riscaldamento annuale, dai carichi energetici di riscaldamento e di raffreddamento e dai costi di esercizio

Parte dei risultati della ricerca svolti durante lo stage sono stati oggetto di un articolo "Application of advanced insulating materials in historical buildings", pubblicato su IJHT – International Journal of Heat and Technology.

Uno dei più importanti argomenti di ricerca che sono stati sviluppati durante lo stage ha riguardato la partecipazione a uno studio sul miglioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro degli edifici attraverso l'impiego di aerogel a base di minerali. È stato sviluppato un modello di simulazione termo-energetica dinamica con Energy Plus per una cellula solare passiva di prova sperimentale di un edificio in scala reale. Si tratta di una modellazione "zonale" 3D, che è stata validata grazie agli studi sperimentali termici e igroscopici numerici, effettuati sulla cellula di prova sperimentale.

È stato inoltre svolto uno studio sulle dispersioni termiche, sullo smorzamento e sfasamento delle pareti esterne.

Sono stati quindi confrontati i due output: il flusso termico e lo smorzamento, ed è stato riscontrato un accordo positivo tra le temperature simulate e quelle misurate.

La test-cell e i precedenti studi presi come riferimento per il lavoro svolto vengono di seguito descritti.

10.2 PERSEE Test-Cell solare passiva

Nel 1984 (Krauss 1985) presso il centro di ricerca PERSEE di Sophia Antipolis è stata costruita una unità test sperimentale (Fig. 10.1). Essa è composta da due celle adiacenti, orientate a sud, identiche per dimensione, che però differiscono nella composizione del muro esposto a sud.

La prima cellula ("cell test"), è caratterizzata da un muro a sud composto di calcestruzzo pesante con uno strato di lana di vetro per l'isolamento interno.

La seconda cellula, adiacente, è caratterizzata da un sistema di smalto semi-trasparente composto da aerogel a base di silice e PCM (phase change material).

Una terza cellula, (la cellula di acquisizione) adiacente alle altre due, è orientata a nord.

Il muro a sud della cell test, con un'area di 17m^2 , è quello sulla quale vengono validati i modelli numerici monodimensionali di scambio termico ed igrometrico.

Inizialmente questo muro era composto da strati di cemento di 25cm (all'esterno), uno strato di 16cm di lana di vetro ed uno strato da 1.3 cm di cartongesso.

In seguito è stato applicato un rivestimento a base di aerogel di 4 cm sulla superficie esterna del muro.

Si è quindi cercato di isolare il muro a sud dagli effetti termici degli altri muri facenti parte della "cellula test"; questi elementi – cioè il muro ad est della cellula test, tutti muri di partizione, il tetto, ed il terreno – sono infatti ben isolati termicamente (vedi Tab. 10.1).

Inoltre, per evitare effetti da irradiazione solare diretta, la cellula test non ha finestre.

La geometria della "cellula test" con le proprietà termofisiche dei materiali di costruzione sono presentati in Tab. 10.1.

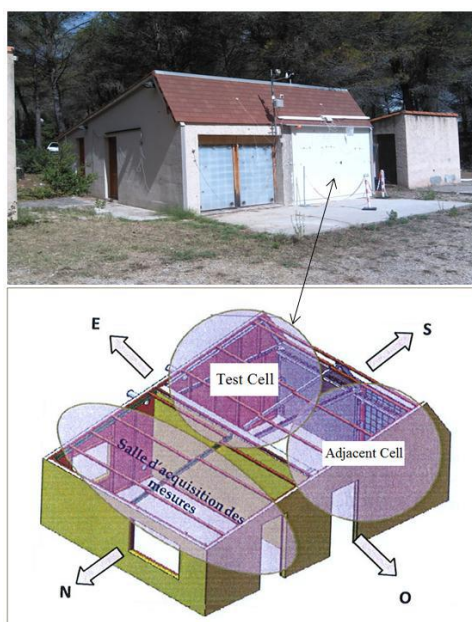


Fig. 10.1 – Celle adiacenti sperimentali, orientate a sud

Strumentazione

Per comparare i risultati degli esperimenti con quelli dei modelli numerici, è stato necessario misurare alcune variabili come input per i modelli, ed altre variabili come output.

Per quanto concerne gli input, questi sono rappresentati dalla temperature dell'aria interna ed esterna, e dall'umidità relativa, l'intensità di radiazioni solari sul muro a sud, e la direzione e velocità del vento.

Gli output sono le temperature e l'umidità relativa su differenti posizioni nel muro. Di seguito viene descritta la strumentazione utilizzata per misurare tutte queste variabili.

Tabella 10.1 - Strumentazione e relative caratteristiche tecniche

STRUMENTAZIONE	CARATTERISTICHE TECNICHE
Sensore termoigrometrico Sensori termoigrometrici Vaisala HUMICAP HMP110 (Vaisala, http://www.vaisala.fr/fr/lifescience/products/probes/Pages/HMP110.aspx)	Sono stati montati con uno scudo solare multistrato passivo, sono impiegati per la misurazione della temperatura dell'aria e l'umidità relativa all'interno e all'esterno, e anche l'umidità relativa all'interno del muro. Hanno un intervallo di misurazione della temperatura da -40°C+80°C con una precisione di $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ per temperature fra 0°C-40°C ed una accuratezza di $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ per temperature fra -40°C-0°C ed +40°C+80°C. L'umidità relativa (RH) ha una intervallo di misurazione 0-100% con accuratezza di $\pm 1.5\%$ per RH fra 0 e 90% ed una precisione di $\pm 3\%$ per RH maggiori di 90%.
Sensori di radiazione solare Sono stati installati due HUKSEFLUX, Piranometri Campbell Scientific (HUKSEFLUX; https://www.campbellsci.fr/lp02)	uno è posizionato orizzontale per la misurazione della radiazione solare globale incidente su una superficie orizzontale ed uno verticale per la misurazione delle radiazioni solari incidenti sulla facciata sud. Entrambi lavorano entro una gamma 0-2000 W/m ² con precisione di $\pm 10\%$.
Sensori di temperatura	I sensori di temperatura utilizzati per le superfici interne, esterne e all'interno del muro sono termocoppie K-type con una precisione di $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.
Sensori di direzione e velocità del vento La direzione e velocità del vento sono misurati con l'ausilio di una stazione anemometrica Pulsonic Aliza 147 (Pulsonic ; http://www.pulsonic.net/combo-vent/alizia-147-capteur-combine-vitesse-et-directionduvent/id menu-84.html)	Sensori con un intervallo 0-60m/s e precisione di $\pm 0.5\text{m/s}$ per le velocità fra 0-10m/s ed una precisione del 3% per velocità fra 10-60m/s.

Posizionamento dei Sensori

L'analisi delle caratteristiche termofisiche che garantisce i migliori risultati è quella diretta attraverso carotaggi, in quanto consente di valutare la corretta stratigrafia dei vari materiali. Se questa non può essere fatta e se si vuole ottenere comunque un valore accurato, la misura strumentale più affidabile è quella mediante flussimetro.

Per ottenere una misurazione corretta della trasmittanza i sensori devono essere applicati in una porzione di superficie rappresentativa della parete.

Per il posizionamento dei sensori in genere vengono osservati i seguenti criteri:

- il termoflussimetro è posizionato sul lato interno della parete per minimizzare gli effetti di disturbo della radiazione solare e per mantenere il sensore in un ambiente meno aggressivo.
- le temperature superficiali interna ed esterna vengono rilevate in più punti, assumendo per l'analisi dei dati la media fra queste letture per minimizzare l'effetto di eventuali piccole disomogeneità nella struttura della parete.
- è inoltre necessario evitare che i sensori siano investiti direttamente dalla radiazione solare a causa del diverso comportamento ottico dei sensori stessi rispetto alla superficie della parete; tale variazione potrebbe infatti determinare sensibili errori di misura.

I risultati ottenibili con l'utilizzo di un flussimetro sono in genere buoni. L'errore di misura è tanto più grande quanto più bassa è la resistenza termica della parete in esame e quanto più elevate sono le resistenze di contatto e quella propria delle piastre.

Per il muro sud, i sensori di temperatura sono collocati sulla superficie esterna del cappotto, all'interfaccia fra il cappotto ed il calcestruzzo, fra il calcestruzzo e l'isolamento interno (lana di vetro), ed alla superficie interna del cartongesso. Per ognuna di queste posizioni, sono presenti 3 sensori: vicino all'angolo est, vicino all'angolo ovest e a metà del muro.

I sensori termoigrometrici sono collocati all'interfaccia fra il cappotto ed il calcestruzzo (Fig. 10.2).

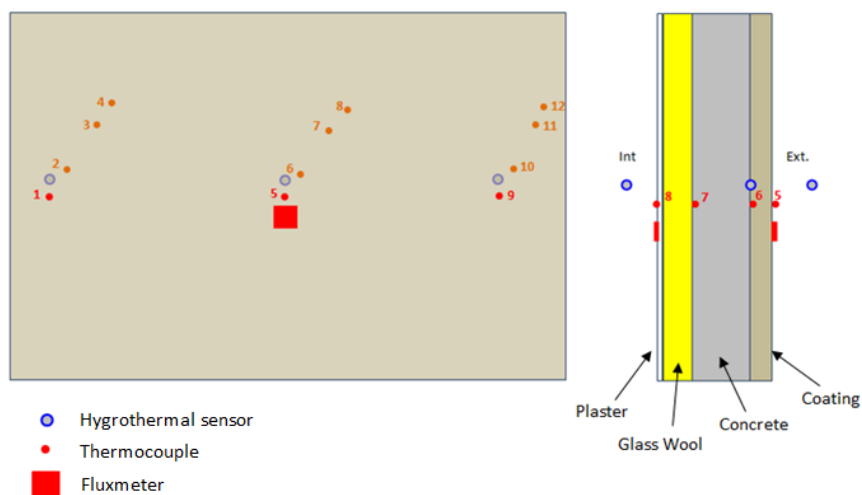


Fig. 10.2 - Sensori di misura all'interno del muro sud

Viene permesso alla temperatura dell'aria interna della "cellula test" di fluttuare liberamente (nessun sistema di condizionamento presente).

Inoltre, dato che si voleva studiare l'effetto della involucro esterno, non sono presenti alcuni apporti termici interni.

Le misurazioni sono prese ogni 10 secondi ed i dati sono registrati ogni 5 minuti prendendo la media delle misurazioni precedenti.

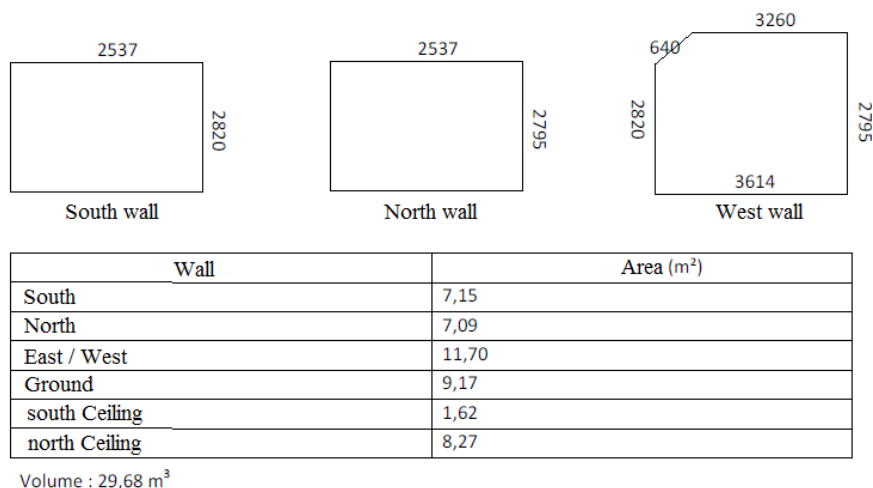


Fig. 10.3 - Geometria della cellula Test in Sophia Antipolis

Tabella 10.2 - proprietà termofisiche dei materiali di costruzione della Test cell

wall	material	thickness (m)	thermal conductivity (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	specific heat (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	density (kg.m ⁻³)
south wall	plaster	0,013	0,32	800	790
	glass wool	0,16	0,041	840	12
	concrete	0,25	2,1	800	2400
east wall	plaster	0,013	0,32	800	790
	glass wool	0,16	0,041	840	12
	wooden plate	0,019	0,18	1700	780
	expanded polystyrene	0,08	0,04	1380	25
west wall (partition)	plaster	0,013	0,32	800	790
	glass wool	0,16	0,041	840	12
	plaster	0,013	0,32	800	790
north wall (partition)	plaster	0,013	0,32	800	790
	glass wool	0,16	0,041	840	12
	concrete	0,25	2,1	800	2400
	Mousse phénol-formol	0,077	0,032	1255	32
roof	plaster	0,013	0,32	800	790
	glass wool	0,16	0,041	840	12
	wooden plate	0,018	0,18	1700	780
ground	tiles	0,015	1	1000	2400
	concrete	0,15	2,1	800	2400
	expanded polystyrene	0,08	0,04	1380	25

I risultati di precedenti studi:

I risultati della simulazione della trasmissione del calore sono stati confrontati con i dati misurati.

Le condizioni climatiche misurate all'esterno e all'interno sono servite da condizioni al contorno per il modello numerico.

Le temperature sono inoltre misurate e simulate all'interfaccia tra lo strato di calcestruzzo e l'isolamento interno.

È stata quindi svolta un'analisi sensibile per determinare gli effetti di alcuni parametri riguardanti il comportamento termico dei muri esterni.

I parametri analizzati sono:

- La conducibilità termica dell'isolamento a cappotto
- La conducibilità termica del calcestruzzo
- La capacità termica volumica dell'isolamento a cappotto
- L'assorbimento solare della superficie esterna

Prestazioni igrotermiche sperimentali della Test cell – Sensibilità dei risultati su alcune variabili di input

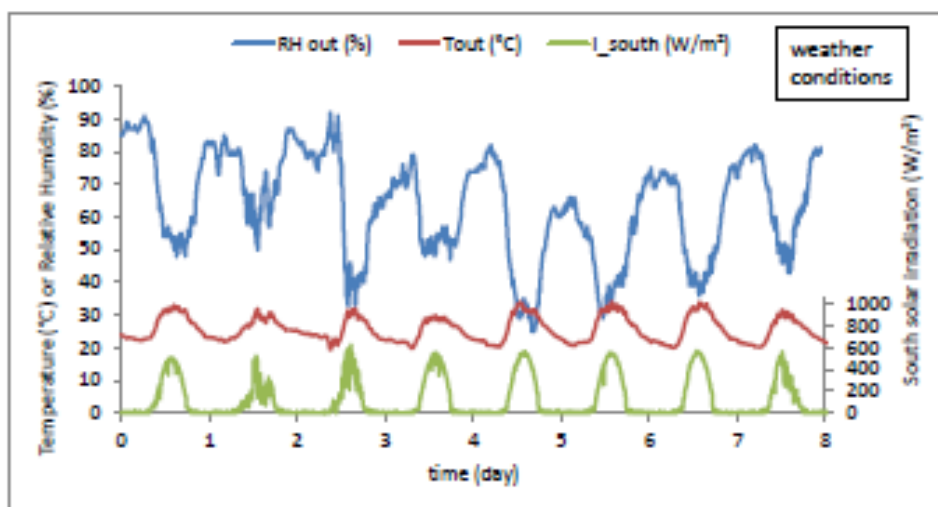


Fig. 10.4 - Prestazioni termoigrotrometriche Test cell – Dati climatici

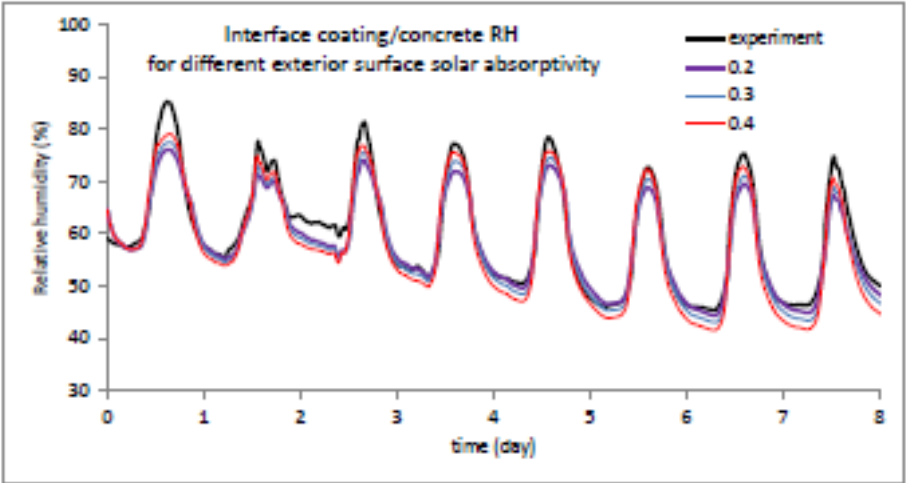


Fig. 10.5 - Sensibilità dell’umidità relativa all’interfaccia isolamento a cappotto/calcestruzzo per diversi assorbimenti solari delle superfici esterne

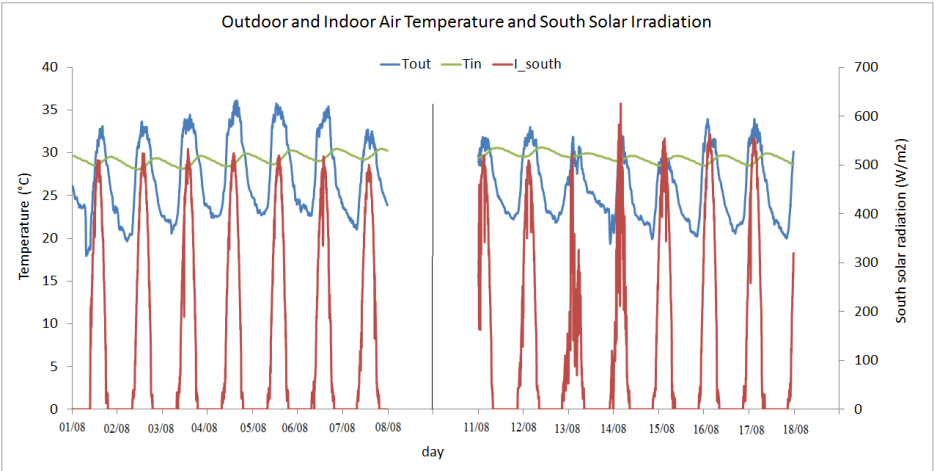


Fig. 10.6 - Temperatura dell’aria esterna misurata (T_{out}), temperature dell’aria interna (T_{in}) e irradiazione solare (I_{south}) per due settimane nel mese di Agosto

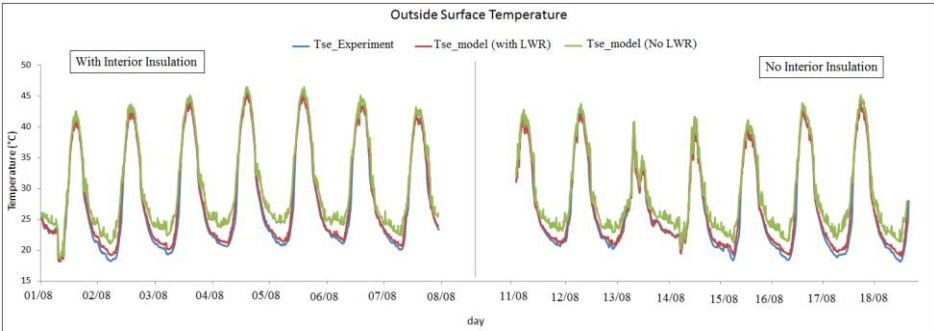


Fig. 10.7- Temperatura superficiale esterna (T_{se}) misurata e simulata (con e senza long-wave radiation “LWR”)

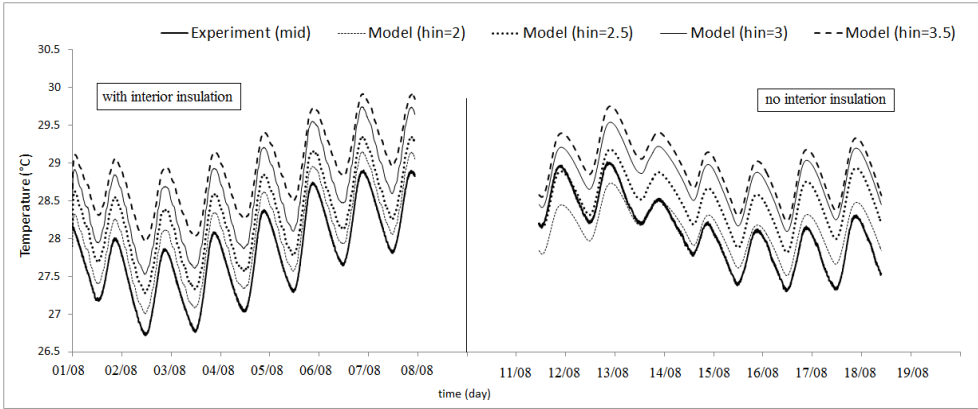


Fig. 10.8 - Variazione della temperatura superficiale della parete interna a sud per diversi coefficienti di convezione interna

CONCLUSIONI

Il tema della riqualificazione energetica è molto complesso ed è quindi necessaria una di buona conoscenza multidisciplinare e approfondimenti degli aspetti teorici dei temi dell'efficienza energetica, impiantistici e architettonici. Temi che sono stati applicati a diversi casi di studio, nell'ottica di studi di riqualificazione funzionale con soluzioni sostenibili, in un'ottica di nearly Zero Energy Building (nZEB).

I diversi casi studio analizzati hanno riguardato l'integrazione di diversi aspetti, impiantistici, di isolamento termico, architettonici e l'utilizzo di simulazioni termoeenergetiche. Sono state valutate le diverse soluzioni e il "sistema edificio" nel suo complesso, con riferimento alle tematiche trattate nella prima parte della tesi.

Gli approfondimenti di questi temi e la loro applicazione su casi studio sono state anche l'occasione per lo studio di soluzioni e tecnologie innovative, quali pannelli ibridi, l'isolamento con aerogel e PCM (phase change materials).

La ricerca svolta nel Dottorato ha quindi permesso di inquadrare e focalizzare importanti aspetti e procedure da seguire per la riqualificazione energetica.

- La **diagnosi energetica** è uno dei processi fondamentali della riqualificazione energetica degli edifici. È una procedura sistematica che si propone di definire il bilancio energetico del sistema edificio-impianto e valutare le condizioni di benessere termoigrometrico. Successivamente è possibile individuare le opportunità di risparmio energetico dal punto di vista tecnico ed economico. Per una diagnosi dettagliata si utilizzano programmi di calcolo di simulazione dinamica del sistema energetico considerato.
- Nella progettazione degli interventi di riqualificazione energetica occorre tenere in considerazione i fabbisogni energetici di riscaldamento, ACS, raffrescamento ed elettrici, che possono variare in base alla destinazione d'uso degli edifici, al tipo di costruzione, all'occupazione e al periodo di utilizzo. È possibile identificare alcune **categorie di edifici**, a partire da quelle definite dal DPR n.412 del 26.8.2013, catalogandoli e caratterizzandoli **per periodo di costruzione e per zone climatiche**, aventi fabbisogni dello stesso ordine di grandezza, **al fine di trovare benchmark comuni a tali categorie**.
- Occorre valutare gli **impianti più idonei** rispetto alle **caratteristiche costruttive** dell'edificio, al **contesto territoriale, paesaggistico e architettonico**, cercando di impiegare le fonti rinnovabili verso soluzioni nZEB.
- Per la riqualificazione energetica degli edifici è importante **valutare l'intero sistema edificio-impianto**. Prima di scegliere la tipologia di impianto e il suo dimensionamento devono essere in primo luogo valutati gli interventi finalizzati a contenere le dispersioni e ridurre in tal modo il fabbisogno energetico per la climatizzazione, cioè l'isolamento dell'involucro opaco dell'edificio e la sostituzione degli infissi, laddove non soddisfino i requisiti prestazionali minimi.
- Per l'**isolamento termico dell'involucro** dell'edificio possono essere utilizzate anche **soluzioni innovative** come l'**aerogel di silice**, che può raggiungere un elevato livello di miglioramento energetico senza compromettere i dettagli architettonici della costruzione, dettagli che potrebbero perdersi con tecniche d'isolamento tradizionale.

- Ai fini di migliorare la prestazione e l'ottimizzazione dei diversi componenti **dell'involucro e dell'impianto**, la loro gestione e il controllo si possono valutare le prestazioni **a livello di componente** (dal singolo elemento all'intero sistema), oppure **a livello di ambiente ed edificio**. I software di simulazione oltre che per le verifiche dei requisiti singoli dei componenti, possono essere inoltre utilizzate per l'**ottimizzazione tra varie prestazioni**.

La ricerca ha anche permesso di individuare diversi processi logici che possono essere applicati a seconda della scala, del livello di complessità del progetto e delle sue varie fasi, per valutare le scelte degli interventi sugli impianti e sull'involucro dell'edificio, che variano quindi a seconda dei casi di studio da affrontare, dei dati a disposizione e dei risultati da raggiungere.

- Nel caso di strutture esistenti di tipo standard si possono utilizzare procedure già consolidate, partendo dalla diagnosi energetica degli edifici e dai consumi effettivi degli impianti per arrivare alle soluzioni di efficienza energetica dell'involucro impiantistiche più convenienti dal punto vista economico e ambientale.
- Oltre agli interventi di miglioramento dell'edificio da un punto di vista energetico, l'efficientamento energetico dell'intero sistema edificio-impianto, si può ottenere attraverso il monitoraggio degli impianti e sistemi domotici per la regolazione interna agli edifici, con misurazioni delle condizioni ambientali e anche con l'analisi comportamentale delle utenze.

In particolare, nei casi di utilizzo di impianti già esistenti a energie rinnovabili di tipo innovativo, è opportuno definire un progetto di monitoraggio e per il corretto utilizzo dell'impianto.

In questi casi è importante in primo luogo studiare l'impianto as built e il progetto esistente, ed effettuare delle diagnosi energetiche e analisi dei consumi edificio-impianto, al fine di massimizzare l'energia prodotta utilizzando le fonti rinnovabili, confrontandole con i risultati attesi da progetto.

Sarà quindi possibile realizzare un programma per la regolazione, il controllo e l'ottimizzazione, anche ai fini di monitoraggio, manutenzione e miglioramento dell'impianto.

- Nei casi di progetti complessi, come il recupero di strutture in contesti territoriali, che presentano diversi vincoli, è consigliabile invece attribuire più peso alle potenzialità del sito, ricercando dei benchmark, secondo la destinazione d'uso e la tipologia di edificio.
- In tutti i casi di riqualificazione energetica, o nella pianificazione di interventi ad ampia scala, è inoltre possibile un raffronto con il contesto territoriale, favorendo la sostenibilità ambientale e minimizzando l'impatto paesaggistico ed economico. Lo studio include pertanto la fattibilità, l'analisi dei vincoli e delle potenzialità del sito, i criteri di scelta e le misure di attenzione e mitigazione. In questi casi è possibile l'utilizzo di tecniche di benchmarking, attraverso le quali si individuano le soluzioni tecniche-impiantistiche più adatte al sito e agli edifici in questione, sfruttando anche gli spazi limitrofi, senza necessariamente passare dalla progettazione preliminare dei singoli interventi.

In tutti i casi studio e processi logici esaminati occorre però tener conto del fatto che l'utilizzo di valori standard (benchmark) per edifici diversi non è il metodo più appropriato e che, nel

caso si voglia intervenire su un edificio, è necessario effettuare una diagnosi energetica per il calcolo dei fabbisogni e provvedere successivamente con un progetto vero e proprio.

In alcuni casi è più indicata una simulazione termo-energetica dinamica, più complessa, per tenere conto di alcuni fattori influenti, come ad esempio l'elevato spessore delle murature. Infatti, i livelli energetici degli edifici che sono stati calcolati solo per scopi di benchmarking e analisi di tipo qualitativo, non forniscono la prestazione energetica reale.

Occorre pertanto valutare il comportamento dinamico dell'edificio in relazione all'uso di energia per il riscaldamento e raffrescamento dell'ambiente attivi e passivi, attraverso un monitoraggio delle prestazioni reali, con misurazioni in laboratorio o sul campo, come riportato nel capitolo 10 nelle attività svolte presso l'Università di Nice Sophia Antipolis e all'Ecole des Mines de Paris.

Nei casi riferiti all'ultimo punto, per quanto riguarda gli studi di fattibilità, di inserimento /sostituzione/integrazione di impianti si può fare riferimento alla tabella in allegato A, che intende offrire un'indicazione per quanto riguarda le caratteristiche degli impianti rispetto alle potenziali interferenze, i principali elementi di attenzione/mitigazione, con una SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) analisi rispetto cioè ai punti di forza, i punti di debolezza, le opportunità, le minacce e i criteri di scelta dell'impianto rispetto all'edificio.

Particolarmente significativa per il percorso del Dottorato è stata l'esperienza dei casi di studio, che hanno permesso di applicare gli aspetti teorici e metodologici della riqualificazione energetica a casi reali.

Viene riportata di seguito una breve sintesi dei risultati dei tre casi studio analizzati nel corso del Dottorato.

Caso studio 1 - Impianto pilota del centro sportivo universitario PalaCus

Il Centro Sportivo dell'Università di Genova, sfrutta pannelli ibridi (termici e fotovoltaici - PV/T (acronimo inglese **PV/T**)) e il sistema Pompa di Calore Elio-Assistita (Solar Assisted Heat Pump-**SAHP**) con Pompa di Calore (Heat Pump-HP) acqua-acqua per produrre contemporaneamente energia elettrica e termica.

L'obiettivo di questo impianto pilota è di coprire sino al 70% della domanda di energia termica per ACS (Domestic Hot Water-DHW) e riscaldamento (Space Heating-SH) dell'edificio attraverso l'uso di energia solare.

Per quanto riguarda il consumo di energia elettrica per la pompa di calore, calcolato su base annua, si deve considerare che l'alto consumo durante il periodo invernale è coperto dalla produzione elettrica PV/T specialmente durante l'estate, anche considerando che la pompa di calore non viene utilizzata durante il periodo estivo grazie ad un bypass che viene attivato nell'impianto, escludendo la pompa di calore, perché è sufficiente il solare termico.

Il livello di complessità dell'impianto solare descritto è certamente accettabile per le applicazioni industriali, ma difficilmente integrabile nelle applicazioni civili e nelle abitazioni.

I dati riportati nella tabella 1, capitolo 6 mostrano che l'impianto pilota attuale è certamente troppo complesso

rispetto ai sistemi tradizionali di ACS e RISC (di acqua calda sanitaria e di riscaldamento), ma è già in grado

di coprire oltre il 38% dei fabbisogni termici ACS e RISC degli utenti, **mediante l'energia solare** offrendo un importo significativo all'anno di energia elettrica.

Quando l'innovativo W-SAHP (Water-Solar Assisted Heat Pump) deve essere integrato con le caldaie esistenti per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, vi sono inevitabili problemi di controllo da affrontare, a causa della grande quantità di componenti da gestire e della complessità del sistema.

I problemi sono stati superati con l'introduzione di un sistema di controllo intelligente e integrato, in grado di gestire nel suo complesso tutti i quattro sottosistemi (ACS, Riscaldamento, W-SAHP, pannelli solari PV/T con by-pass).

Caso studio 2 – Edifici storici militari, il Forte Begato

Le soluzioni proposte per il caso studio di **Forte Begato** sono state valutate in base alle caratteristiche e disponibilità di spazi del sito, alla destinazione d'uso che sarà prevista per il complesso di Forte Begato, traguardando il concetto di edifici nZEB.

Per questo caso sono state studiate varie soluzioni, ed è stato presentato un confronto tra diverse tipologie di impianto.

Partendo dall'opportunità offerta dalle caratteristiche del sito è stato proposto l'inserimento una pompa di calore acqua/acqua, con due soluzioni in alternativa: un'ipotesi di pompa di calore con utilizzo della cisterna sotterranea esistente, e un'ipotesi di una pompa di calore elio-assistita, ovvero un sistema integrato che vede l'utilizzo di una pompa di calore e di pannelli solari termici. Normalmente le pompe di calore e i pannelli solari vengono impiegate separatamente (o al più ponendole in parallelo) per produrre ACS e riscaldamento. Nell'utilizzo integrato, il pannello solare termico svolge la funzione di fonte di calore a bassa temperatura e il calore prodotto viene utilizzato per alimentare l'evaporatore della pompa di calore. L'obiettivo è quello di ottenere COP elevati e quindi produrre energia in modo più efficiente e meno costoso.

L'impianto fotovoltaico può essere considerato come complementare ai sistemi con pompe di calore. Nel progetto per il Forte di Begato, i pannelli fotovoltaici saranno inseriti sulla copertura di una pensilina dei posti auto previsti negli spazi a monte del forte, come richiesto dalla Soprintendenza.

Nel progetto è stato ipotizzata anche l'installazione di un impianto micro-eolico, in quanto rappresenta una soluzione meno impattante rispetto alle pale eoliche di tipo industriale e di dimensioni elevate, con l'installazione di una ventina di pale micro-eoliche, la cui energia prodotta viene sommata a quella dei pannelli fotovoltaici e contribuisce a coprire il fabbisogno delle attività che saranno introdotte nel complesso di Forte Begato.

E' stato inoltre proposto un intervento di isolamento termico sulla superficie interna delle pareti, al fine di evitare l'impatto sul paesaggio esterno.

Per quanto riguarda l'efficienza dell'involucro, il progetto di riqualificazione energetica di Forte Begato prevede anche la sostituzione degli infissi del terzo piano della ex caserma con nuovi infissi con prestazioni energetiche di isolamento elevate.

Caso studio 3 - complesso edifici di Edilizia Residenziale Pubblica (ERP)

Il progetto di riqualificazione del complesso di Via Leva ha affrontato tematiche energetiche e sociali e propone soluzioni integrate, con una selezione di interventi mirati.

L'ipotesi di riqualificazione del complesso degli edifici di Via Pietro Leva a Genova ha offerto l'opportunità di definire un modello flessibile di analisi, progettazione, valutazione e finanziamento degli interventi proposti, modello che potrebbe essere applicato anche per altri progetti di riqualificazione di edifici residenziali pubblici, ovvero ad altre tipologie di edificio.

Interessante è stato anche la valutazione dei costi. Nello studio del caso di Via Leva, i pesi percentuali delle varie voci rispetto al totale generale dei costi, ha evidenziato che il costo maggiore è rappresentato dalla riqualificazione dell'involucro, con oltre il 60%. Tale voce comprende anche i ponteggi che incidono per circa il 10%. Il capitolo di spesa maggiore dell'involucro è imputabile alla sostituzione degli infissi (~28%). La produzione di ACS con pannelli solari incide per circa il 15% ÷ 20%, a seconda delle soluzioni adottate. Il fotovoltaico avrebbe un incidenza del 12% e l'intervento sulle coperture (tetto verde e rimozione dell'amianto inciderebbe per circa un 10%).

Nel caso di utilizzo del sistema a pompe di calore elioassistita con pannelli ibridi, questo andrebbe in alternativa al sistema fotovoltaico con costi paragonabili a quelli dei pannelli solari con il vantaggio di produrre anche una parte della produzione dell'acqua calda sanitaria e riscaldamento.

Lo studio evidenzia che gli interventi sono abbastanza indipendenti gli uni dagli altri e potrebbero quindi essere programmati anche in successione, considerando anche interventi parziali per tipologia e cercando di sfruttarne l'economia di scala intervenendo su tutti gli edifici.

Un modello di finanziamento potrebbe coinvolgere soggetti e finanziamenti pubblici e privati, come ad esempio le ESCO, in modo da apportare effetti moltiplicativi delle risorse pubbliche messe a disposizione.

La combinazione di questi finanziamenti, anche alla luce di possibili incentivi fiscali e/o contributi statali, può considerarsi un modello capace di integrare diversi finanziamenti che si possono auto innescare, per ottenere le risorse finanziarie necessarie alla realizzazione degli interventi, promuovendo altresì la partecipazione volontaria dei destinatari degli alloggi.

Considerazioni finali

Scopo della ricerca è stato quello di realizzare esempi per promuovere soluzioni tecnologiche mirate, il concetto di edifici nZEB e il Retrofit per gli edifici esistenti da recuperare, anche nell'ambito di progetti complessi che si avvalgono di connubi tra pubblico e privato.

Gli interventi prioritari degli edifici andrebbero visti nel loro complesso, affiancando i problemi energetici, con quelli strutturali e sismici, attraverso un confronto tra i diversi esperti delle costruzioni.

Importante è anche considerare il ruolo delle istituzioni, nella riqualificazione degli edifici pubblici, questi dovrebbero dare il buon esempio e diventare un modello anche per gli edifici privati. Ad esempio, nel caso dei bandi di concessione di alcuni immobili pubblici a privati, è importante stabilire alcuni requisiti per il risparmio energetico, dando la priorità a quelle proposte di utilizzo che prestano maggiore attenzione all'ambiente, al risparmio energetico e all'utilizzo di energia da fonti rinnovabili.

Il Programma di valorizzazione del sistema dei Forti del Comune di Genova rappresenta un caso emblematico, essendo frutto degli sforzi congiunti fra poteri pubblici e iniziative private, per un vasto intervento su complessi a destinazione multipla, rispettoso dell'equilibrio ecologico-ambientale, in grado di beneficiare delle attrezzature socio-culturali indispensabili per il recupero di un importante contesto storico, all'uso nella vita contemporanea a favore del pubblico.

Da considerare anche l'importanza dell'interazione con l'utente, elemento fondamentale ai fini di raggiungere un elevato risparmio energetico e allo stesso tempo garantire il comfort degli utenti stessi.

Gli aspetti teorici dei temi dell'efficientamento energetico e impiantistici approfonditi nella prima parte della ricerca sono stati anche l'occasione per lo studio di soluzioni e tecnologie innovative, quali i pannelli ibridi, l'isolamento con aerogel e PCM (phase change materials), che possono costituire argomenti per ulteriori ricerche.

Pubblicazioni presentate durante il Dottorato

- C. Saio, A. Magliocco, L. A. Tagliafico (2015) Riquilificazione Edilizia Residenziale Pubblica - il caso studio di Via Pietro Leva in Genova, 33° Convegno Nazionale "Comfort e risparmio energetico negli edifici esistenti: diagnosi, contabilizzazione, monitoraggio, building automation", Bologna, Italia
- C. Saio, K. Nocentini, L. A. Tagliafico, P. H. Biwole, P. Achard (2017), Application of advanced insulating materials in historical buildings, IJHT – International Journal of Heat and Technology, 2nd AIGE/IIETA International Conference and 11th AIGE 2017 Conference on "Energy Conversion, Management, Recovery, Saving, Storage and Renewable systems" Genoa, Italy, 35 pp. S345-S352 DOI: 10.18280/ijht.35Sp0147
- L. A. Tagliafico, A. Arteconi, A. Marchitto, C. Saio, F. Scarpa (2017) A pilot plant with hybrid PV/T panels: system integration of solar assisted heat pump with existing heating devices, 35th UIT Heat Transfer Conference

Allegato A

Tabelle comparative e criteri per la scelta degli impianti a energie da fonti rinnovabili negli edifici

- A1. Fabbisogni energetici per tipologie di edificio – Ipotesi e confronto installazione impianti (Rif. Capitoli. 2, 3 e 5)
- A2. Sintesi criteri scelta degli impianti a seconda della tipologia degli edifici e alle modalità di regolazione della temperatura (Rif. Capitolo 3)
- A3. Impianti e principali interferenze ambientali e antropiche, misure di attenzione e mitigazione (Rif. Capitoli 3 e 9)

A1. Fabbisogni energetici per tipologie di edificio – Ipotesi e confronto installazione impianti

(Rif. Capitoli 2, 3 e 5)

TABELLA FABBISOGNI ENERGETICI PER TIPOLOGIE DI EDIFICIO – Ipotesi installazione impianti (da analizzare congiuntamente alle tabelle A2-A3)

FABBISOGNI ENERGETICI DEGLI EDIFICI				VERIFICA POTENZIALITA’ DEL SITO			
				Ipotesi impianti a copertura del fabbisogno			
Tipologia di edificio e periodo di costruzione Residenziale (casi di studio esaminati)	COMPONENTI DELLA STRUTTURA	IMPIANTI ESISTENTI	FABBISOGNI	PdC componenti ambientali: aria, paesaggio fattori antropici: acustica	FV componenti ambientali: suolo, biodiversità, paesaggio fattori antropici: elettromagnetismo, rifiuti	ST componenti ambientali: suolo, biodiversità, paesaggio fattori antropici: no	Micro-eolico componenti ambientali: suolo, biodiversità, paesaggio fattori antropici: acustica, elettromagnetismo
				$Q_T=Q_{\text{onsite}}+Q_{\text{offsite}}$ $E_T=E_H+E_{EL}$ $P_{el}=E_H/COP$ $P_{el}=E_H/COP$	$E_T=E_{\text{onsite}}+E_{\text{offsite}}$	$Q_T=Q_{\text{onsite}}+Q_{\text{offsite}}$	$E_T=E_{\text{onsite}}+E_{\text{offsite}}$
Fino alla seconda guerra mondiale Casa unifamiliare Casa indipendente o a schiera, appartamento singolo di uno o due piani	Copertura a falda con struttura e tavolato in legno Solaio controterra in calcestruzzo Muratura con paramenti in pietra e mattoni (40 cm) Finestre con vetro singolo, telaio in metallo senza taglio termico	Caldaia di riscaldamento a gas centralizzato, boiler non a condensazione con bruciatore atmosferico, tubi non isolati Boiler a gas non a condensazione per sistema combinato riscaldamento e ACS (con bruciatore atmosferico) – distribuzione ACS con circolazione, tubi all’interno dell’involucro termico	Riscaldamento 335 (kWh/m ² /anno) 24000 kWh Indice ACS: 79 (kWh/m ² /anno) ACS: 7900 kWh Elettr.: 2700 kWh	21 kW	3 kW 21 m ² di pannelli	ACS 4m2 Risc 10m ² Tot: 14 m ² di pannelli solari termici	4 aerogeneratori
				gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 8428 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 2599 kg di CO ₂ risparmiati	15950 kWh risparmiati gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 4213,99 kWh	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 2599 kg di CO ₂ risparmiati
Dopo la seconda guerra mondiale Casa plurifamiliare Piccoli edifici caratterizzati da un numero limitato di appartamenti (ad esempio da 2 a 5 piani fino a 20 appartamenti)	Solaio di copertura latero-cementizio armato Pavimento con solaio latero-cementizio armato Muratura in mattoni pieni (38 cm e 25 cm) Finestre vetro singolo, telaio in legno	Riscaldamento centralizzato a gasolio, caldaia non a condensazione (bruciatore a tiraggio forzato) nell’impianto termico, tubi non isolati Sistema ACS autonomo (per appartamento) - riscaldamento elettrico - distribuzione ACS separata senza circolazione	Riscaldamento 226 (kWh/m ² /anno) 271200 kWh Indice ACS: 79 (kWh/m ² /anno) ACS: 94800 kWh Elettr.: 5400 kWh	276 kW	5 kW 35 m ² di pannelli	ACS 4m ² Risc 10m ² Tot: 14 m ² di pannelli solari termici	9 aerogeneratori
				gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 91862 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 2599 kg di CO ₂ risparmiati	gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 4213,99 kWh	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 2599 kg di CO ₂ risparmiati
Costruzioni dagli Anni ’70 Dopo la legge del ’76 Blocco di appartamenti Con basso isolamento termico Grande edificio caratterizzato da un alto numero di appartamenti (ad esempio più di 4 piani e più di 15 appartamenti)	Tetto con solaio latero-cementizio armato, basso isolamento Solai in laterocemento armato, basso isolamento Muratura in mattoni forati (40 cm), basso isolamento. Muratura in calcestruzzo (anche prefabbricato, 18 cm), basso isolamento Finestre a doppio vetro, riempite d’aria, telaio in metallo senza taglio termico	Riscaldamento a gas centralizzato, boiler non a condensazione (bruciatore a tiraggio forzato) in impianti termici, tubi isolati Sistema ACS autonomo (per appartamento) - scaldabagno a gas istantaneo (camera di combustione sigillata) - distribuzione ACS separata senza circolazione	Riscaldamento 67,6 (kWh/m ² /anno) 81120 kWh Indice ACS: 17,4 (kWh/m ² /anno) ACS: 20880 kWh Elettr.: 40500 kWh	77 kW	33 kW 231 m ² di pannelli	ACS 4 m ² Risc 10 m ² Tot: 14 m ² di pannelli solari termici	60 aerogeneratori
				gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 25600 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 2599 kg di CO ₂ risparmiati	gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 4213,99 kWh	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 2599 kg di CO ₂ risparmiati
Costruzioni Anni ’90 Legge 10/1990 Blocco di appartamenti Con isolamento termico Medio Grande edificio caratterizzato da un alto numero di appartamenti (ad esempio più di 4 piani e più di 15 appartamenti)	Copertura con solaio latero-cementizio armato, isolamento medio Solaio latero-cementizio armato, isolamento medio Murantura in calcestruzzo (anche prefabbricato, 30 cm), isolamento medio, muratura in mattoni forati (40 cm) isolamento medio Finestre a doppio vetro, riempito d’aria, telaio in metallo con taglio termico	Riscaldamento decentralizzato (per appartamento), boiler non a condensazione negli spazi non condizionati, tubi isolati Sistema ACS autonomo (che combina riscaldamento e ACS per appartamento) boiler non a condensazione per spazi non condizionati – distribuzione ACS separata senza circolazione.	Riscaldamento 62,9 (kWh/m ² /anno) 75480 kWh Indice ACS: 17,1 (kWh/m ² /anno) ACS: 20520 kWh Elettr.: 40500 kWh	72 kW	33kW 231 m ² di pannelli	ACS 4m ² Risc 10m ² Tot: 14 m ² di pannelli solari termici	60 aerogeneratori
				gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 24095 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 2599 kg di CO ₂ risparmiati	gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 4213,99 kWh	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 2599 kg di CO ₂ risparmiati

FABBISOGNI ENERGETICI DEGLI EDIFICI				VERIFICA POTENZIALITA’ DEL SITO			
				Ipotesi impianti a copertura del fabbisogno			
Altre tipologie di edifici (da studi ENEA)	COMPONENTI DELLA STRUTTURA	IMPIANTI	FABBISOGNI	PdC componenti ambientali: aria, paesaggio fattori antropici: acustica	FV componenti ambientali: suolo, biodiversità, paesaggio fattori antropici: elettromagnetismo, rifiuti	ST componenti ambientali: suolo, biodiversità, paesaggio fattori antropici: no	Micro-eolico componenti ambientali: suolo, biodiversità, paesaggio fattori antropici: acustica, elettromagnetismo
				$Q_T=Q_{onsite}+Q_{offsite}$ $E_T=E_H+E_{EL}$ $P_{el}=E_H/COP$ $P_{el}=E_H/COP$	$E_T=E_{onsite}+E_{offsite}$	$Q_T=Q_{onsite}+Q_{offsite}$	$E_T=E_{onsite}+E_{offsite}$
Edifici alberghieri Centro Italia Alberghi 3 stelle 30 stanze da 20 m ² Sala conferenze ca 120 m ² Ristorante ca 90 m ² TOT 900 m2	Tetto con solaio latero-cementizio armato, alto isolamento Solai in laterocemento armato, isolamento medio Murantura in calcestruzzo Finestre a doppio vetro, ripito d’aria, telaio in metallo con taglio termico	Caldaia a metano, pompe di calore elettriche, sistemi a tutt’aria, ventilconvettori (fan coil), sistemi misti aria-primaria fan coil	Indice Risc: 2.5 MWh per stanza 75 MWh Indice Raffr: 2.5 MWh per stanza 75 MWh Indice ACS: 4 MWh per stanza 120 MWh Ind Elettr.: 7,5 MWh per stanza Elettr.: 225 MWh	125 kW	180 kW 1260 m ² di pannelli	ACS 3500 m ² Risc 90m ² Tot: 3590 m ² di pannelli solari termici	335 aerogeneratori
				gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 48943 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 2599 kg di CO ₂ risparmiati	gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 4213,99 kWh	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 2599 kg di CO ₂ risparmiati
Nord Italia Alberghi 3 stelle 30 stanze da 20 m ² Sala conferenze ca 120 m ² Ristorante ca 90 m ² TOT 900 m2	Tetto con solaio latero-cementizio armato, alto isolamento Solai in laterocemento armato, isolamento medio Murantura in calcestruzzo Finestre a doppio vetro, ripito d’aria, telaio in metallo con taglio termico	Caldaia a metano, pompe di calore elettriche, sistemi a tutt’aria, ventilconvettori (fan coil), sistemi misti aria-primaria fan coil	Indice Risc: 3.5 MWh per stanza 105 MWh Indice Raffr: 2 MWh per stanza 60 MWh Indice ACS: 4 MWh per stanza 120 MWh Ind Elettr.: 7,5 MWh per stanza 225 MWh	169 kW	180 kW 1260 m ² di pannelli	ACS 1m ² /litro 3500 m2 Risc 1m ² /10m ² 90m ² Tot: 3590 m ² di pannelli solari termici	335 aerogeneratori
				gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 56472 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 97470 kg di CO ₂ risparmiati	gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 51519 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 97479 kg di CO ₂ risparmiati
Istituti Scolastici edifici scolastici riportati ai GG di Torino 2250m ² 6750 m ³	Tetto con solaio latero-cementizio armato, alto isolamento Solai in laterocemento armato, isolamento medio Murantura in calcestruzzo (anche prefabbricato) Finestre a doppio vetro, ripito d’aria, telaio in metallo con taglio termico	Impianti di climatizzazione invernale alimentati a metano, impianti di tipo tradizionale, non ha condensazione	Indice Risc: 27 kWh/m ³ 182250 kWh Ind Elettr.: 5 kWh/m ³ 33750 kWh	137 kW	27 kW 189 m ² di pannelli	Risc 225 m ² di pannelli solari termici	50 aerogeneratori
				gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 45742 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 14620 kg di CO ₂ risparmiati	gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 48150 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 14620 kg di CO ₂ risparmiati
edifici scolastici superiori in Italia 2250m ² 6750 m ³	Tetto con solaio latero-cementizio armato, alto isolamento Solai in laterocemento armato, isolamento medio Murantura in calcestruzzo (anche prefabbricato) Finestre a doppio vetro, ripito d’aria, telaio in metallo con taglio termico	Impianti di climatizzazione invernale alimentati a metano, impianti di tipo tradizionale, non ha condensazione	Indice Risc 114 kWh/m ² 256500 kWh Ind Elettr. 15 kWh/m ² 33750kWh	193 kW	27 kW 189 m ² di pannelli	Risc 225 m ² di pannelli solari termici	50 aerogeneratori
				gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 64378 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 14620 kg di CO ₂ risparmiati	gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 6776 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 14620 kg di CO ₂ risparmiati
Centri sportivi Palestre alte 1260 m ² 14300m ³	Volte sottili in cemento armato Solai in laterocemento armato Facciata continua in calcestruzzo, Finestre a doppio vetro, riempite d’aria, telaio in metallo senza taglio termico	Caldaie a gas, pompe di calore, caloriferi, aerotermi	Indice Risc: 60,9 kWh/m ² / 5,4 kWh/m ³ 76800 kWh Ind Elettr. Illuminazione 80 kWh/m ² / 7 kWh/m ³ Ventilazione 60,9 kWh/m ² / 5,4 kWh/m ³ Illuminazione 100800 kWh Ventilazione 76800 kWh	57 kW	142 kW 994 m ² di pannelli	Risc 126 m ² di pannelli solari termici	264 aerogeneratori
				gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 19276 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 76936 kg di CO ₂ risparmiati	gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 20290 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 76936 kg di CO ₂ risparmiati
Palestre basse 1831 m2 10987 m3	Volte sottili in cemento armato Solai in laterocemento armato Facciata continua in calcestruzzo, Finestre a doppio vetro, riempite d’aria, telaio in metallo senza taglio termico	Caldaie a gas, pompe di calore, caloriferi, aerotermi	Indice Risc 480 kWh/m ² / 80 kWh/m ³ 878783 kWh/anno Ind Elettr.: Illuminazione 89,5 kWh/m ² / 18,7 kWh/m ³ 52608 kWh Ventilazione 55200 kWh	663 kW	86 kW 994 m ² di pannelli	Risc 126 m ² di pannelli solari termici	160 aerogeneratori
				gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 220565 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 46702 kg di CO ₂ risparmiati	gasolio: f=0,2642 kg di CO ₂ /kWh 20290 kg di CO ₂ risparmiati	Energia elettrica da rete: f=0,4332 kg di CO ₂ /kWh 76702 kg di CO ₂ risparmiati

A2. Sintesi criteri scelta degli impianti a seconda della tipologia degli edifici e alle modalità di regolazione della temperatura

(Rif. Capitolo 3)

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA AVANZATA SISTEMA RISCALDAMENTO E ACS PER TIPOLOGIA DI EDIFICIO E PERIODO DI COSTRUZIONE

TIPOLOGIA DI EDIFICIO E PERIODO DI COSTRUZIONE	RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA AVANZATA SISTEMA RISCALDAMENTO	RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA AVANZATA SISTEMA ACS
Residenziale Fino alla seconda guerra mondiale Casa unifamiliare	Riscaldamento centralizzato, boiler a condensazione, impianto solare termico , tubi isolati (dopo il 2005 stringe orizzontali nei locali riscaldati)	Impianto solare termico , boiler a condensazione , distribuzione ACS con circolazione, tubazioni all’interno dell’involucro termico
Dopo la seconda guerra mondiale Casa plurifamiliare	Riscaldamento centralizzato, pompa di calore a sorgente suolo , tubazioni isolate	Sistema ACS centralizzato, pompa di calore con sorgente suolo , distribuzione ACS centralizzata con circolazione, frazione di tubazioni esterna dall’involucro termico
Costruzioni Anni ‘70 Blocco di appartamenti	Riscaldamento centralizzato, pompa di calore a sorgente aria , impianto solare termico , tubazioni isolate	Sistema centralizzato ACS, impianto solare termico, boiler a condensazione , distribuzione ACS centralizzata con circolazione, frazione di tubazioni esterna all’involucro termico
Con isolamento termico Blocco di appartamenti	Riscaldamento centralizzato, pompa di calore a sorgente suolo , tubazioni isolate	Sistema ACS centralizzato, pompa di calore a sorgente suolo , distribuzione ACS centrale con circolazione, frazione di tubazioni fuori dall’involucro termico

CRITERI DI SCELTA DELL’IMPIANTO RISPETTO ALL’EDIFICIO

TIPOLOGIA DI I MPIANTO	CRITERI DI SCELTA DELL’IMPIANTO RISPETTO ALL’EDIFICIO
Pompa di calore	<p>Grazie all’alta efficienza energetica delle pompe di calore vi sono consistenti risparmi economici sulla bolletta energetica nonostante i sistemi più diffusi siano alimentati elettricamente.</p> <p>A livello locale non vengono rilasciate emissioni inquinanti dalla pompa di calore, con conseguente miglioramento della qualità dell’aria in prossimità dell’edificio e in ambito urbano.</p> <p>Tra gli svantaggi di questa tecnologia da tener presenti nel progetto, si evidenziano le emissioni di rumore, rischio perdite di gas refrigerante, impatto visivo sulle facciate per la presenza delle unità di scambio esterne di impianti autonomi.</p>
Tecnologia geotermica di tipo suolo/suolo	<p>Nel caso in cui si vogliano scaldare più zone dell’abitazione a temperature diverse è possibile utilizzare più di un compressore, a seconda delle differenti destinazioni d’uso.</p> <p>Impiegando un sistema a espansione diretta si può ottenere il massimo rendimento con una superficie di captazione ridotta.</p>
Tecnologia geotermica di tipo acqua/acqua	<p>Nella soluzione “acqua/acqua” il calore viene trasmesso attraverso un circuito idraulico (acqua glicolata nei sensori esterni, acqua nel pavimento radiante).</p> <p>Rispetto alla superficie richiesta dal sistema a espansione diretta, la superficie prevista per tale sistema è superiore.</p> <p>Con l’impiego di sonde geotermiche verticali più profonde, è tuttavia possibile ridurre la superficie captante, ove la superficie del terreno lo permetta.</p>
Tecnologia geotermica di tipo suolo/acqua	<p>Questa soluzione associa l’utilizzo di un fluido frigorigeno all’interno del sensore a quello di un circuito idraulico per il pavimento radiante o i radiatori.</p> <p>Con la tecnologia mista come quella “acqua glicolata-acqua” è possibile sfruttare la rete di radiatori già esistente.</p>
Utilizzo della pompa di calore per il riscaldamento invernale	<p>bisogna verificare la temperatura, in quanto non è molto conveniente quando la temperatura esterna scende al di sotto dei 5°C, anche se i dati di targa delle pompe di calore commerciali garantiscono un buon funzionamento anche per temperatura esterna sotto lo zero.</p>
Impianti geotermici	<p>Se si devono effettuare degli scavi per la realizzazione di impianti geotermici, bisognerà verificare il rischio idrogeologico e l’impianto in fase di realizzazione.</p> <p>Il riscaldamento geotermico permette di definire delle “zone di comfort”, tenendo conto della destinazione d’uso delle diverse stanze secondo lo stile di vita delle utenze.</p> <p>In presenza di un bacino d’acqua abbastanza capiente è possibile sfruttarlo come volano termico estivo e invernale della pompa di calore.</p> <p>Nel caso si scelga di utilizzare la geotermia è necessario valutare l’area a disposizione e chiedere l’autorizzazione alla soprintendenza nel caso in cui si tratti di patrimonio storico.</p>
Impianto solare termico	<p>Gli accumuli a liquido per impianto solare termico (acqua) devono avere una forma verticale, per favorire la stratificazione</p>
Pannelli ibridi PV/T	<p>Combinando collettori solari termici ed altre tecnologie si possono ottenere delle sinergie, considerando che i Collettori ibridi termici Fotovoltaici (PV/T) producono energia termica e energia elettrica, ottimizzando gli spazi disponibili</p>

REGOLAZIONE DELLA TEMPERATURA DEI TERMINALI DEGLI IMPIANTI (DISTRIBUZIONE ALL’INTERNO DELL’EDIFICIO)

A seconda della soluzione tecnologica adottata vi sono diverse possibilità di regolazione della temperatura.

Caldaie a condensazione	le caldaie a condensazione hanno la caratteristica di avere un alto rendimento a temperature relativamente basse, il che le rende particolarmente indicate in abbinamento a sistemi di riscaldamento a pannelli radianti a pavimento o a parete e, come detto, in edifici dotati di buona inerzia termica.
sistema a espansione diretta	Nel sistema a espansione diretta , il compressore restituisce una potenza appositamente regolata per ciascuna stanza, in modo da garantire la temperatura prescelta.
sistemi a distribuzione idraulica	Nei sistemi a distribuzione idraulica invece, è possibile regolare la portata dell’acqua circolante nei pavimenti radianti. Inizialmente si individuano le stanze soggette a maggiore dispersione, facendo particolare attenzione a quelle rivolte verso nord, si possono così aumentare il numero di pannelli radianti durante l’installazione dell’impianto, al fine di trasferirvi più calore.
pavimento radiante a bassa temperatura	<p>Il pavimento radiante a bassa temperatura rappresenta la miglior soluzione per una distribuzione uniforme del calore; gli ambienti interni non presentano gli ingombri dei radiatori, se l’aria non è mai secca si crea un ambiente più sano durante l’inverno e i pavimenti non sono mai freddi.</p> <p>Per di più l’acqua calda sanitaria può essere prodotta senza costi aggiuntivi, sfruttando l’elevata temperatura del fluido frigorigeno in uscita dal compressore, attraverso uno scambiatore di calore posto all’interno di un serbatoio di ACS.</p> <p>Per quanto riguarda gli edifici di tipo tradizionale in muratura di pietra, è consigliato l’impiego di impianti a bassa temperatura, in quanto variazioni di eccessive della temperatura potrebbero causare delle fratture della muratura.</p> <p>-I pannelli radianti a bassa temperatura funzionano bene con la pompa di calore e con le caldaie a condensazione.</p> <p>-I pannelli radianti a pavimento influiscono positivamente sul comfort termico, infatti l’uomo sta bene quando i piedi sono a una temperatura calda e la testa a una temperatura fredda.</p> <p>-Nel caso di edifici con ambienti molto alti, come gli edifici storici, i pannelli radianti a pavimento costituiscono una soluzione ottimale, in quanto hanno un rendimento maggiore, dovuto al fenomeno fisico di propagazione del calore verso l’alto e dall’assenza di stratificazione dell’aria.</p> <p>-Il pavimento sopraelevato, che propone diverse soluzioni tra cui il sistema radiante, consente di conservare i pavimenti di particolare pregio artistico di alcuni edifici storici.</p> <p>-Se si utilizzano pavimenti radianti di spessore ridotto e bassa inerzia termica si possono raggiungere le temperature ambiente prefissate in breve tempo.</p>
Impianti a pannelli radianti a secco	<p>Vantaggi</p> <ul style="list-style-type: none">• Velocità di risposta e di messa a regime• Risparmio energetico• Funzionamento con temperatura di mandata più bassa• Rapidità di installazione

A3. Impianti e principali interferenze ambientali e antropiche, misure di attenzione e mitigazione

(Rif. Capitoli 3 e 9)

EOLICO

Linee di sviluppo del PEAR: favorire l’installazione di impianti eolici attraverso la semplificazione delle procedure autorizzative

Fattori di analisi:

- componenti ambientali: suolo, biodiversità, paesaggio
- fattori antropici: acustica, elettromagnetismo

POTENZIALI INTERFERENZE	
<p>In fase di cantiere l’impatto ambientale generato da una turbina eolica è prevalentemente legato a:</p> <ul style="list-style-type: none">• consumo di suolo per la fondazione della torre, la piazzola di manovra e per la creazione di accessi stradali temporali idonei per autotreni e gru di grandi dimensioni;• opere di scavo per la realizzazione del basamento e delle linee di collegamento elettrico in MT fino alla più vicina sottostazione per la connessione alla rete nazionale;• operazioni di cantiere che portano a danni alla vegetazione, a volte con disboscamento non solo del sito di installazione ma anche delle vie di accesso. <p>In fase operativa una turbina eolica genera principalmente:</p> <ul style="list-style-type: none">• impatto visivo determinato dalla dimensione del fusto e della turbina e dalla loro ubicazione (occorre a tal fine rammentare che per gli impianti eolici industriali la regione Liguria rilascia sempre autorizzazione paesaggistica);• inquinamento acustico di tipo aerodinamico, generato dall’interferenza tra corrente fluida e pale in movimento, e di tipo meccanico, oggi molto minore, generato da sistemi meccanici ed elettrici presenti all’interno della navetta. Ambedue risultano udibili/fastidiosi fino ad una distanza di circa 300 metri RDV;• impatto su avifauna (uccelli sia stanziali che migratori) e chiroterri per collisioni occasionali con pale in movimento;• impatto sulla flora e sulla vegetazione (rischio di frammentazione degli habitat).	
POTENZIALI INTERFERENZE	PRINCIPALI ELEMENTI DI ATTENZIONE/MITIGAZIONE
<p>Suolo:</p> <p>Consumo del suolo, impermealizzazione , compattazione</p> <p>Contaminazione locale o diffusa</p>	<p>Ottimizzare sistematicamente la progettazione al fine di ridurre il consumo di suolo con l’obiettivo di perseguire la maggiore efficienza, quindi attraverso un numero minore di aerogeneratori di maggiore potenza.</p> <p>Favorire la localizzazione degli impianti e delle opere accessorie in aree servite da viabilità esistente, desumibile non solo da un’analisi cartografica ma anche da specifici sopralluoghi.</p> <p>Definire l’entità della produzione e le modalità di raccolta, trasporto e smaltimento degli olii derivanti dal funzionamento a regime del parco eolico</p>
<p>Biodiversità:</p> <p>Frammentazione degli habitat</p> <p>Interferenza con la fauna</p> <p>Interferenza con la vegetazione</p>	<p>Evitare la frammentazione degli habitat, l’interruzione della connettività ecologica locale e le interferenze con la Rete Ecologica Regionale.</p> <p>Porre estrema attenzione agli habitat presenti, con particolare riferimento a quegli interventi che possono interferire con le aree comprese nella Direttiva Habitat e Direttiva Uccelli, predisponendo in questo caso gli elaborati necessari alla Valutazione di Incidenza.</p> <p>Favorire la localizzazione degli impianti e delle opere accessorie in aree servite da viabilità esistente, desumibile non solo da un’analisi cartografica ma anche da specifici sopralluoghi minimizzando le opere stradali o le modifiche alla preesistente viabilità.</p> <p>In particolare con avifauna e chiroterri</p> <p>Occorre infatti avviare un piano di recupero ambientale con tempi e scadenze certe</p>
<p>Paesaggio:</p> <p>impatto sul contesto paesaggistico, storico-architettonico e archeologico</p>	<p>Porre particolare attenzione progettuale al consistente impatto sul sistema dei beni paesaggistici e culturali tutelati che gli impianti eolici industriali per loro natura determinano.</p> <p>Individuare opere di mitigazione specifica, con preciso riferimento ai beni paesaggistici e culturali interessati dall’intervento.</p>
<p>Inquinamento acustico:</p> <p>Impatto acustico su aree/edifici residenziali</p>	<p>Analizzare in fase progettuale la compatibilità dell’opera con la zonizzazione acustica comunale e la presenza di ricettori sensibili potenzialmente impattanti; effettuare una valutazione di impatto acustico, verificando in sito i livelli assoluti e differenziali del rumore immesso nell’ambiente circostante</p>
<p>Inquinamento elettromagnetico:</p> <p>Elettromagnetismo delle linee elettriche ad A/M tensione</p>	<p>Adottare tecniche di ottimizzazione delle fasi.</p> <p>Adottare sostegni più alti o di top compatto.</p> <p>Introdurre un sistema di abbattimento dei livelli mediante circuito compensativo.</p> <p>Utilizzare, ove possibile, linee di trasmissione esistenti.</p> <p>Utilizzare per l’allaccio alla rete elettrica di distribuzione, linee interrate lungo la viabilità esistente, con una profondità minima di 1m.</p>

PREGI E DIFETTI PER IL MICRO-EOLICO	
ad asse orizzontale HAWT	Pregi alta resa aerodinamica produzione di energia quasi doppia per una data area spazzata Cut-in speed fisso e più basso Difetti maggiore rumorosità a parità di potenza
ad asse verticale VAWT	Pregi geometria più compatta minore emissione di rumore costo mediamente poco inferiore Difetti oscillazioni di coppia sull’albero motore e quindi sui cuscinetti minore energia a parità di dimensioni Cut-in speed dipendente dalle condizioni globali di vento e geometriche (parzialmente risolte dalla Gorlov) Cut-in speed mediamente 30% più alti -Bassa resa aerodinamica

FOTOVOLTAICO

Linee di sviluppo del PEAR: promuovere la realizzazione di impianti fotovoltaici su edifici ed in aree industriali o degradate dal punto di vista ambientale

Fattori di analisi:

- componenti ambientali: suolo, biodiversità, paesaggio
- fattori antropici: elettromagnetismo, rifiuti

POTENZIALI INTERFERENZE	
Gli impatti ambientali di un impianto solare fotovoltaico sono legati principalmente: <ul style="list-style-type: none">• agli aspetti paesaggistici, essendo presente una superficie vetrata, che può trasformare anche pesantemente la percezione del sito;• all’occupazione di suolo, rilevante per impianti di taglia superiore a quella domestica• al conseguente impatto sulla copertura vegetale• al rifiuto di tipo speciale che si genera a fine ciclo vita (valutabile in circa 25 anni), che deve essere trattato da ditte specializzate anche al fine di recuperare il materiale riciclabile (65% in peso)	
POTENZIALI INTERFERENZE	PRINCIPALI ELEMENTI DI ATTENZIONE/MITIGAZIONE
Suolo: impermeabilizzazione ed erosione del suolo Contaminazione locale o diffusa	Conservare, nel caso di sistemazione al suolo, la massima permeabilità del terreno e realizzare opportune reti di drenaggio superficiale individuando il recapito finale e prevedendo le relative opere di manutenzione Prevedere sistematicamente opere di ingegneria naturalistica per la canalizzazione delle acque di ruscellamento Rispettare la morfologia dei suoli Garantire all’atto di dismissione, il ripristino delle condizioni geo-ambientali presenti all’atto dell’installazione, evitando abbandoni di materiali
Biodiversità: impatto sugli aspetti bionaturalistici	Porre estrema attenzione progettuale al consistente impatto sul sistema dei beni paesaggistici e culturali tutelati che gli impianti fotovoltaici industriali per loro natura determinano
Paesaggio: impatto sul contesto paesaggistico, storico-architettonico e archeologico	Porre particolare attenzione progettuale al consistente impatto sul sistema dei beni paesaggistici e culturali tutelati che gli impianti fotovoltaici industriali per loro natura determinano Per l’installazione dei pannelli solari occorrerà prima verificare la disponibilità delle aree limitrofe ben esposte al soleggiamento e rispettando i vincoli ambientali e paesaggistici. Garantire, all’atto della dismissione, il ripristino delle condizioni presenti all’atto dell’installazione, ed effettuando migliorie paesaggistico-ambientali anche compensative
Inquinamento elettromagnetico: Elettromagnetismo delle linee elettriche ad A/M tensione	Garantire, all’atto della dismissione, il ripristino delle condizioni presenti all’atto dell’installazione, ed effettuando migliorie paesaggistico-ambientali anche compensative
Rifiuti: Produzione di rifiuti speciali	Preferire nel caso dei pannelli tradizionali, i moduli monocristallini a quelli policristallini e, in linea generale, l’installazione di un minor numero di pannelli con maggiore efficienza m ² /kW _p (efficienza intesa come “qualità tecnologica, ma come superficie necessaria per produrre lo stesso quantitativo di energia)

SOLARE TERMICO

Linee di sviluppo del PEAR: incrementare il ricorso alla tecnologia solare termica

Fattori di analisi:

- componenti ambientali: suolo, biodiversità, paesaggio
- fattori antropici: no

POTENZIALI INTERFERENZE	
<p>Il solare termico si può considerare una delle tecnologie più semplici e pulite: infatti gli impatti generati da impianti solari, solitamente di dimensioni limitate (residenziali o di servizio a strutture pubbliche/commerciali), sono principalmente legati all’impatto visivo, specie se non integrati con il manufatto edilizio, e ai conseguenti effetti sul paesaggio e sul patrimonio architettonico a seconda del posizionamento dei pannelli.</p> <p>Solo nel caso di grandi impianti e impianti solari termici a concentrazione (detti anche termodinamici) si hanno alcuni impatti di rilievo, ma tale tipologie di impianti non è adatta ad applicazioni domestiche, essendo normalmente di grandi dimensioni ed elevata potenza. In quel caso gli impatti, specie su consumo di suolo e paesaggio, sono generalmente simili agli impianti fotovoltaici industriali. Occorre ricordare che gli impianti termodinamici sono piuttosto rari, con le attuali tecnologie destinati soprattutto a climi molto caldi e non di facile localizzazione nel contesto ligure.</p>	
POTENZIALI INTERFERENZE	PRINCIPALI ELEMENTI DI ATTENZIONE/MITIGAZIONE
<p>Paesaggio:</p> <p>impatto sul contesto paesaggistico, storico-architettonico e archeologico</p>	<p>Considerare il possibile impatto paesaggistico degli impianti domestici. Sebbene l’occupazione di suolo per tali impianti sia minima, vista la limitata dimensione, è da preferire l’installazione sulle coperture purché rapportata alla tipologia dei fabbricati (copertura piana o copertura a falde, mantenendo l’inclinazione originale della copertura). Fornire inoltre attenta considerazione al possibile impatto paesaggistico soprattutto quando gli impianti vengano realizzati su coperture di fabbricati di interesse storico/etnografico, preferendo comunque sistematicamente pannelli solari piani senza serbatoio di accumulo esterno.</p> <p>Preferire nelle aree rurali la collocazione direttamente a copertura di fienili, ricoveri attrezzi, stalle, ecc., integrata nella struttura dei fabbricati (copertura piana o copertura a falde, mantenendo l’inclinazione originale della copertura)</p>

Dimensionamento impianto solare	
<p>L’obiettivo non è quello di coprire tutta la domanda di energia con l’impianto solare. E’ quello di massimizzare l’effetto utile dell’investimento, ovvero dimensionare l’impianto solare in modo che il valore attuale netto della spesa e del beneficio sia massimo.</p> <p>Frazione di copertura solare ottimale: 40-50%</p>	
Accumuli a liquido (acqua)	
Vantaggi	basso costo, facile reperibilità, elevato calore specifico, buono scambio termico negli scambiatori, piccolo volume
Svantaggi	necessità di isolamento termico buono scambio termico con l’esterno aggiunta anticongelanti

POMPA DI CALORE

Linee di sviluppo del PEAR: promuovere l’impiego delle pompe di calore nel settore civile

Fattori di analisi:

- componenti ambientali: aria, paesaggio
- fattori antropici: acustica

POTENZIALI INTERFERENZE	
<p>Una volta terminati i lavori di montaggio, in fase operativa (in esercizio) l’impatto ambientale di una pompa di calore è generato dai seguenti fenomeni:</p> <ul style="list-style-type: none">• Rumore, modesto per installazioni domestiche, generato dal compressore e dai vari ventilatori presenti nel sistema, in particolare nell’unità esterna,• Eventuali perdite di gas refrigeranti con effetto climaterante (fluorurati),• Impatto paesaggistico/architettonico delle unità esterne presenti sulle facciate degli edifici di valore architettonico e /o ubicati nei centri storici, <p>Calore reflu scaricato in servizio estivo (refrigerazione) che può contribuire al fenomeno dell’isola calore in ambito urbano.</p>	
POTENZIALI INTERFERENZE	PRINCIPALI ELEMENTI DI ATTENZIONE/MITIGAZIONE
<p>Aria:</p> <p>calore reflu</p>	<p>Per impianti di uso domestico considerare l’eventuale disturbo causato dal calore reflu scaricato in servizio estivo.</p>

<div>Paesaggio</div> <div>Impatto sul contesto paesaggistico, storico-architettonico e archeologico</div>	<ul style="list-style-type: none">• Trattandosi per sua natura, di elemento estraneo al contesto paesaggistico, è necessario che per le unità esterne sia sistematicamente evitata la collocazione sulle facciate principali, privilegiando l’utilizzo di spazi sottotetto, cavedi o altre situazioni in cui le stesse risultano non visibili (sotto parapetti, ecc.)• Nel caso in cui la dimensione e la collocazione non possono essere differite occorre che sia progettato uno spazio per alloggiarle coerente col contesto paesaggistico (problematica particolarmente sentita anche per attività economiche quali stabilimenti balneari, ristoranti e bar);• Valutare l’utilizzo di tecnologie come la pompa di calore geotermica;• Prevedere uno schema di impianto adeguato: studiare attentamente il posizionamento anche reciproco dei generatori installati (disposizione in linea, sfalsati, in cluster, ecc.) e simulare e valutare alternative tecnologiche;• L’installazione di questa tipologia di impianti dovrà pertanto avvenire in coerenza con il sistema di vincoli che insiste sugli ambiti oggetto di tutela.• Predisporre, nel caso di pompe di calore geotermiche, da parte dei soggetti abilitati, con riferimento alle possibili interferenze con il patrimonio archeologico, il relativo documento di valutazione e la carta del potenziale archeologico, da sottoporre alla Soprintendenza.
<div>Acustica:</div> <div>Impatto acustico su aree/edifici residenziali</div>	<div>Privilegiare impianti a basse emissioni acustiche, in particolare per gli impianti non domestici prevedere un locale apposito per gli impianti opportunamente insonorizzato</div>

PUNTI DI FORZA, INNOVAZIONE TECNOLOGICA E OPPORTUNITA’	
<div>Punti di forza e di debolezza rispetto a una caldaia a gas</div>	<div>Efficienza energetica notevolmente superiore rispetto ai moderni generatori di calore a gas per il riscaldamento degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria.</div> <div>Assenza di fiamma, per cui non si applicano le prescrizioni antincendio normalmente richieste per le caldaie (non occorre impianto di adduzione e gestione combustibile, né canna fumaria).</div> <div>Costo più elevato rispetto alla tecnologia alternativa (caldaia a gas) e maggiore complessità tecnologica.</div>
<div>Innovazione tecnologia</div>	<div>La pompa di calore è un impianto di riscaldamento e raffrescamento dell’aria di tipo reversibile. Questa tecnologia preleva calore da un ambiente freddo, per trasferirlo ad un altro ambiente più caldo, processo che richiede un apporto energetico dall’esterno sotto forma di energia elettrica e/o termica. Questo fa sì che solo una parte del calore fornita dalla pompa di calore all’ambiente da riscaldare sia considerata rinnovabile, per cui il contributo di questa tecnologia al raggiungimento dell’obiettivo di Burden Sharing è limitato.</div> <div>La tecnologia matura con filiera e mercato consolidato. Si riscontra invece una ridotta conoscenza tecnologica e quindi diffidenza da parte degli utenti e una scarsa familiarità di installatori e progettisti con questa tecnologia.</div> <div>L’attuale fase di crisi economica scoraggia l’innovazione tecnologica.</div>
<div>DSM (Demand-Side-Management)</div>	<div>È possibile usare le pompe di calore attraverso il DSM (Demand-Side-Management), per flessibilizzare e bilanciare la rete elettrica, e per compensare le fluttuazioni di potenza dovute alle fonti rinnovabili non-programmabili (solare ed eolico). Le pompe di calore, opportunamente gestite da remoto, potrebbero regolare il proprio funzionamento in modo da operare quando la produzione elettrica è eccedente e spegnersi nei periodi in cui è carente per effetto della riduzione della produzione da fonte rinnovabile.</div>
<div>Dimensionamento potenza impianto PdC</div>	<div>Non è conveniente dimensionare la pompa di calore per soddisfare tutte le richieste di energia termica di un edificio; conviene dimensionarla per il 60-70% del massimo carico (somma dell'energia termica per riscaldare l'intero edificio e l'acqua calda richiesta dalle utenze), lasciando a un sistema supplementare le richieste occasionali.</div>